

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Srovnání gabionové a prefabrikované železobetonové
zárubní zdi v zářezu dálnice D48**

Comparison of gabion and precast cantilever
retaining wall situated at the road cut of D48 motorway

Student:

Tomáš Pavelek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marek Mohyla, Ph.D.

Ostrava 2021

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Pavelek**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: Srovnání gabionové a prefabrikované železobetonové zárubní zdi v
zářezu dálnice D48
Comparison of Gabion and Precast Cantilever Retaining Wall Situated at
the Road Cut of D48 Motorway

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod

Principy navrhování opěrných a zárubních zdí

Statické posouzení gabionové a prefabrikované železobetonové zárubní zdi

Hlediska výběru gabionové a prefabrikované železobetonové zárubní zdi

Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

ATKINSON, John. *An introduction to the mechanics of soils and foundations*. New York: McGraw-Hill International (UK) Limited, 1993. ISBN 0-07-707713-X.

ŠIMEK J., JESENÁK J., EICHLER J., VANÍČEK I. *Mechanika zemin*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00428-4.

HULLA J., TURČEK P. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga Group, v.o.s., 2005. ISBN 80-8076-023-3.

HULLA J., TURČEK P., BALIAK F., KLEPSATEL F. *Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve*. Bratislava: Jaga group, v.o.s., 2002. ISBN 80-88905-42-7.

ROZSYPAL, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Bratislava: Jaga group, v.o.s., 2001. ISBN 80-88905-44-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Mohyla, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.“

V Ostravě, dne 1. dubna 2021

Tomáš Pavelek

Prohlašuji:

- Byl jsem seznámen s tím, že se na mou bakalářskou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Na tomto místě bych chtěl poděkovat nejdříve Ing. Marku Mohylovi, Ph.D. za jeho ochotu, cenné připomínky a odborné vedení při zpracování této závěrečné práce. Dále bych chtěl poděkovat svým kolegům ze společnosti Metrostav Infrastructure a.s. za podporu a poskytnutí podkladů pro vypracování této bakalářské práce. V neposlední řadě patří poděkování mé partnerce a nejbližší rodině za jejich podporu, porozumění a toleranci, kterou mi vyjadřovali v průběhu psaní této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou opěrných konstrukcí a jejich rolí coby geotechnických staveb v dopravním stavitelství. Součástí práce je přiblížení základních principů souvisejících s fungováním, navrhováním a realizací opěrných konstrukcí. Zároveň jsou zde představeny převládající technologie a jejich uplatnění v rámci dopravních staveb. Hlavním cílem této práce je provést praktické srovnání aktuálně nejpopulárnější technologie gabionových zdí s méně známou technologií prefabrikovaných úhlových zdí. Za tímto účelem je ke skutečné gabionové zdi v zářezu dálnice D48 alternativně navržena prefabrikovaná železobetonová zeď. Obě zdi jsou staticky posouzeny a komplexně porovnány na základě mnoha parametrů, přičemž důraz je kladen především na cenu, náročnost realizace a dobu jejího trvání. Dílčím cílem této bakalářské práce je přiblížit samotný průběh realizace gabionové konstrukce i zárubní zdi sestavené z prefabrikovaných dílců. Výsledkem této práce bude určení výhodnější technologie pro zmíněný zářez dálnice D48.

Klíčová slova

opěrná konstrukce, prefabrikovaná úhlová zeď, realizace, gabionová zeď, zářez, dálnice, geotechnika, cena, náročnost

Summary

This paper deals with the problematics of retaining structures and their role as geotechnical structures in transport constructions. That includes familiarization of basic principles related to functioning, designing and realization of retaining structures. At the same time, the prevailing technologies and their application in transport constructions are presented. The main goal of this paper is to make a practical comparison of the currently most popular technology of gabion walls with the less known technology of precast cantilever concrete walls. For this purpose, a prefabricated cantilever wall is designed as an alternative for real gabion wall in the road cut of the D48 motorway. Both walls are statically assessed and comprehensively compared on the basis of many parameters with emphasis on the cost, difficulty of the realization and its duration. The partial goal of this paper is to approximate the process of realization of the gabion structure and the precast cantilever wall. The result of this work will be the definition of a more advantageous technology for the mentioned road cut of the D48 motorway.

Key words

retaining structures, precast cantilever wall, realization, gabion wall, road cut, motorway, geotechnical engineering, price, difficulty

Seznam zkratek

ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
D	součinitel míry zhutnění
E _{def}	modul přetvárnosti
GK	geotechnická kategorie
SO	stavební objekt
SZZ	statická zatěžovací zkouška
KZP	kontrolní a zkušební plán
NP	návrhový přístup
OTSKP	Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací
PVC	polyvinylchlorid
RDS	realizační dokumentace stavby
TKP	technické kvalitativní podmínky
TP	technické podmínky

Obsah

1. ÚVOD	9
2. NAVRHOVÁNÍ OPĚRNÝCH KONSTRUKCÍ	10
2.1. VŠEOBECNĚ	10
2.2. PROJEKTOVÁNÍ OPĚRNÝCH KONSTRUKCÍ	11
2.2.1. Průzkum	11
2.2.2. Zatížení	12
2.2.3. Návrh a posouzení	13
2.2.4. Monitoring	14
2.3. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ OPĚRNÝCH KONSTRUKCÍ	15
2.3.1. Gravitační zdi	15
2.3.2. Úhlové zdi	15
2.3.3. Další typy zdí v dopravním stavitelství	17
3. REALIZACE ZÁRUBNÍ ZDI V ZÁŘEZU DÁLNICE D48	18
3.1. PŘÍPRAVA STAVENIŠTĚ	19
3.2. ZEMNÍ PRÁCE I.	19
3.3. ZALOŽENÍ ZÁRUBNÍ ZDI	22
3.4. REALIZACE ZDI	23
3.5. ZEMNÍ PRÁCE II.	24
3.6. NAVAZUJÍCÍ ČINNOSTI	26
4. STATICKÉ POSOUZENÍ GABIONOVÉ A PREFABRIKOVANÉ ŽELEZOBETONOVÉ ZÁRUBNÍ ZDI	27
4.1. POSOUZENÍ REALIZOVANÉ GABIONOVÉ ZDI	27
4.2. ALTERNATIVNÍ NÁVRH A POSOUZENÍ PREFA. ÚHLOVÉ ZDI	29
5. KOMPLEXNÍ SROVNÁNÍ ŘEŠENÝCH ZÁRUBNÍCH ZDÍ	31
5.1. POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ, VÝHOD A NEVÝHOD	31
5.2. NÁROČNOST REALIZACE	34
5.3. VYHODNOCENÍ ČASOVÉ A EKONOMICKÉ NÁROČNOSTI	39
6. ZÁVĚR	44
LITERATURA	47

1. Úvod

Geotechnické stavby jsou objekty realizované v horninovém prostředí nebo jsou z hornin zhotovené. Jedná se například o tunel, jámu, násyp nebo zářez. Geotechnické stavby jsou tvořeny geotechnickými konstrukcemi, jejichž primárním účelem je stabilizace horninového prostředí. Zajišťují obnovení stavu rovnováhy, který byl narušen realizací a existencí geotechnické stavby. Mezi geotechnické konstrukce se řadí například důlní výztuž, štětovnicové stěny nebo opěrné konstrukce.

Opěrné konstrukce aktuálně patří v České republice i zahraničí mezi hojně využívané geotechnické konstrukce, které jsou především pro existenci pozemních komunikací často velmi důležité. Vzhledem k členitosti terénu musí osa pozemní komunikace překonávat různé překážky. Aby byla zajištěna plynulá niveleta, je nutné vést osu komunikace násypy nebo zářezy. V případě, že není možné vybudovat násyp nebo zářez s bezpečnými sklony svahů, je nutný návrh opěrných konstrukcí. Jejich navrhování a následná realizace patří k významným oblastem zájmu jak oboru geotechniky, tak i oboru dopravního stavitelství. Samotné navrhování geotechnických konstrukcí se řídí normou ČSN EN 1997-1: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla.

Hlavním cílem této práce je provést praktické srovnání aktuálně nejpopulárnější technologie gabionových zdí s méně známou technologií prefabrikovaných úhlových zdí. Toto porovnání proběhne v rámci konkrétního zářezu dálnice D48 v úseku kolem obce Libhošť. Za tímto účelem bude navržena prefabrikovaná železobetonová alternativa ke skutečné gabionové zárubní zdi, která byla v tomto zářezu realizována na začátku roku 2020. Srovnání bude komplexní, přičemž hlavními hledisky jsou ekonomický aspekt, doba výstavby a celková technologická náročnost realizace. Ohled bude brán také na jednotlivé vlastnosti obou porovnávaných technologií.

Dílčím cílem je přiblížit průběh realizace gabionové konstrukce včetně různých praktických detailů a navrhnout alternativní technologický postup, který by vyžadovala zárubní zeď sestavená z prefabrikovaných dílců. Neméně důležitým dílčím cílem je představení problematiky opěrných konstrukcí včetně zásad jejich navrhování a principů fungování.

2. Navrhování opěrných konstrukcí

2.1. Všeobecně

Termín opěrné konstrukce je používán jako souhrnné označení pro skupinu geotechnických konstrukcí, které mají jako svůj primární účel zabezpečovat stabilitu zemního tělesa, přičemž Zajíček a kolektiv (2014) definují zemní těleso jako součást pozemní komunikace tvořené násypem, zářezem nebo odřezem včetně svahů. Dle ČSN EN 1997-1 opěrné konstrukce zahrnují všechny typy stěn a podpěrných systémů, ve kterých jsou konstrukční prvky zatíženy silami ze zadržovaného materiálu. Norma dále opěrné konstrukce podle návrhu dělí na gravitační zdi, vetknuté stěny a složené opěrné konstrukce. V této práci jsou opěrnými konstrukcemi myšleny především zdi první zmíněné kategorie, do které spadají například i úhlové zdi, přestože fungují na jiném principu než zdi gravitační (viz část 2.3.). Účelem těchto opěrných konstrukcí je zajistit, aby výsledný sklon svahu mohl být větší, než je úhel vnitřního tření zeminy. Nicméně pro svah nad opěrnou konstrukcí přesto platí, že sklon musí splňovat stabilitní podmínky tak, aby nad zdí nedošlo ke smykovému porušení.

Opěrné konstrukce mají své využití také při sanaci sesuvů, a to nejen u dopravních staveb. (Paseka, 2014) Záruba, Vachtl a Pokorný (1974) uvádí jako faktory způsobující sesouvání například změnu sklonu svahu, přetížení násypy, vliv atmosférických srážek, působení podzemní vody, činnost mrazu, zvětrávání hornin nebo změny ve vegetačním porostu. Některé z těchto faktorů bývají způsobeny činností člověka a v mnoha případech činnost člověka ovlivňují. Příklady opěrných konstrukcí, které jsou jako sanační prvky využívány, jsou zmíněny v podkapitole 2.3.3.

V dopravním stavitelství jsou opěrné konstrukce běžnou a velmi často nutnou součástí liniových staveb. V závislosti na své poloze vůči pozemní komunikaci jsou opěrné konstrukce děleny na opěrné a zárubní zdi. (ČSN 73 0037, 1992) Zatímco zárubní zeď stabilizuje zářez pozemní komunikace, opěrná zeď udržuje rovnováhu zemního tělesa v místě násypu.

2.2. Projektování opěrných konstrukcí

2.2.1. Průzkum

Aby bylo možné správně navrhnout jakoukoliv geotechnickou konstrukci, je zapotřebí mít k dispozici dostatek údajů nutných k řádné charakteristice horninového prostředí a určení charakteristických hodnot parametrů zemin nebo hornin. Za účelem získání těchto dat se v místě stavby před započítím prací na projektové dokumentaci provádí geotechnický průzkum, jenž v sobě zahrnuje prvky průzkumu inženýrskogeologického a hydrogeologického.

Příslušné technické podmínky, tj. TP 76 B, definují geotechnický průzkum jako činnost směřující k získání potřebných poznatků nejen o inženýrskogeologických, hydrogeologických a hydrologických poměrech, ale i o geotechnických podmínkách horninového prostředí včetně fyzikálně-mechanických vlastností horninového masivu. Tyto poznatky jsou využívány pro účely územního plánování, projektování a realizace staveb a pro účely sanace důsledků činnosti člověka i přírodních vlivů na zemský povrch. Cílem geotechnického průzkumu je poskytnout údaje o geologických, geotechnických hydrogeologických poměrech staveniště a jeho okolí. (Barvínek, 2017) Získané informace umožňují technicky správný, ekonomicky přijatelný a časově i technologicky proveditelný návrh a realizaci. (Masopust, 2012) Mezi důležité vlivy, které je nutné během průzkumu ověřit patří například úroveň, režim nebo agresivita podzemní vody. Je nutné ověřit také agresivitu základové půdy na beton a betonové konstrukce. (TP 76 A, 2009) V neposlední řadě je nezbytné ověřit, zdali se staveniště nenachází v oblasti ovlivňované geodynamickými jevy (např. svahové pohyby nebo poddolování). Za zmínku stojí také, že v rámci průzkumu pro dopravní stavby se hodnotí vhodnost zemin v zářezech pro jejich následné použití do násypů nebo aktivní zóny.

Dále je cílem tohoto průzkumu určení geotechnických podmínek a geotechnické kategorie pro danou stavbu. Eurokód 7 řadí konstrukce do tří kategorií na základě jejich náročnosti a složitosti základových poměrů. První geotechnická kategorie (GK) zahrnuje malé a relativně jednoduché konstrukce se zanedbatelným rizikem, které pro základní posouzení návrhu vyžadují pouze kvalitativní průzkum a zkušenosti. Do druhé GK spadají obvyklé typy konstrukcí a základů s běžným rizikem a jednoduchými základovými poměry či podmínkami zatížení. Pro posouzení jejich návrhu jsou vyžadovány kvantitativní

geotechnické údaje a příslušné výpočty pro ověření splnění požadavků mezních stavů. Do třetí GK se řadí všechny konstrukce, které nespádají do předchozích dvou kategorií (konstrukce s neobvyklým rizikem vyžadující specializovaný průzkum a polní zkoušky). (Masopust, 2012) V závislosti na určené geotechnické kategorii se může lišit postup návrhu konstrukce, výpočtové vzorce a některé koeficienty v nich používané.

Význam geotechnického průzkumu by se v žádném případě neměl podceňovat. Často se může jevit jako zbytečný výdaj, nicméně v případě pozdního odhalení nepříznivého jevu bývají náklady mnohonásobně vyšší, než je cena geotechnického průzkumu, který mohl neočekávaným problémům předejít. (Vojtasík, 2014)

2.2.2. Zatížení

Opěrné konstrukce jsou primárně namáhány zemními tlaky, což jsou síly, kterými na sebe působí horninové prostředí a samotná konstrukce. Velikost zemního tlaku je určena nejen stabilitními parametry přilehlé zeminy, tj. její objemová tíha (γ), úhel vnitřního tření (ϕ) a soudržnost (c), ale i druhem konstrukce, resp. její tuhostí a deformačním chováním. (Masopust, 2018) Další namáhání může být vyvoláno přitížením koruny svahu nad opěrnou konstrukcí. V případě opěrných zdí se jedná například o zatížení vyvolané existencí pozemní komunikace, jejíž násypové těleso se o zeď opírá. Mimo jiné je nutné brát v potaz zatížení během samotné realizace opěrné konstrukce. Jedná se především o zatížení proměnné pásové způsobené pohybem stavební mechanizace. Dále je také potřeba uvažovat zemní tlaky vyvolané zhutňováním zásypu za rubem konstrukce.

Podle Masopusta (2018) lze zatížení gravitačních zdí členit na vlastní tíhu konstrukce a zásypového materiálu, zemní tlaky (stanovené s ohledem na možný pohyb opěrné zdi), přírůstky zemního tlaku (od ostatního stálého nebo užitého zatížení), účinky vody a podzemní vody, vlivy teploty a pokud to přichází v úvahu pak také kolizní síly a síly vln a ledu.

U všech zmíněných druhů zatížení je důležité na základě konkrétních podmínek určit, zdali se jedná o zatížení stále nebo dočasné, aby bylo možné při návrhu správně vybrat dílčí koeficienty (zároveň se liší podle zvoleného návrhového přístupu). Dále je nutné zvážit možný relativní pohyb stěny a základové půdy s ohledem na to, jestli se jedná o zatížení aktivní zemním tlakem nebo zemním tlakem v klidu. Zemní tlak v klidu je uvažován, pokud relativní

pohyb stěny a základové půdy nenastane. Aktivní zemní tlak se uvažuje, pokud je relativní pohyb konstrukce (shodný se směrem působení zemního tlaku) větší než $5 \cdot 10^{-4}$ výšky konstrukce. Pokud nejsou splněny podmínky dosažení aktivního zemního tlaku, je počítáno s mezilehlými hodnotami. K pasivnímu zemnímu tlaku dochází při pohybu konstrukce proti směru působícího zemního tlaku, nicméně v případě opěrných konstrukcí tento pohyb nebývá umožněn. S plnou hodnotou pasivního zemního tlaku nebývá počítáno prakticky nikdy. (Masopust, 2018)

2.2.3. Návrh a posouzení

Před samotným návrhem je důležité zvolit nejvhodnější druh opěrné konstrukce pro konkrétní inženýrskogeologické podmínky a požadavky na funkci. Roli při výběru hraje například výška zdi, náklady spojené s realizací nebo samotný účel. Následně je zvolená opěrná konstrukce navrhována a dimenzována v souladu s normou ČSN EN 1997-1. Pro navrhování a posuzování opěrných konstrukcí platí zásady mezních stavů, jenž jsou děleny do dvou skupin. Do skupiny 1. mezního stavu (mezní stavy porušení) jsou zařazeny následující hlediska: ztráta celkové stability, porušení konstrukčního prvku (stěna, styk mezi jednotlivými prvky), kombinace porušení v základové půdě a v konstrukčním prvku, porušení únosnosti základové půdy, porušení smykem v základové spáře, porušení vztlakem a vnitřní erozí. Skupina 2. mezního stavu (mezní stavy použitelnosti) zahrnuje porušení nakloněním zdi nebo pohyb opěrné konstrukce, který může vyvolat kolaps nebo efektivní užívání konstrukce. Mimo jiné je nutné uvažovat také s nepříjemnou změnou režimu podzemní vody, průsakem stěnou (popř. pod stěnou) nebo nepříjemným transportem částic zeminy skrze stěnu (resp. pod stěnou). (Masopust, 2012)

Opěrné konstrukce jsou navrhovány a posuzovány na základě vnější a vnitřní stability. Mezi kritéria vnější stability Vojtasík (2014) řadí únosnost podloží, naklonění, překlopení, horizontální posun a stabilitu svahu. Kritéria vnitřní stability jsou různá podle typu opěrné konstrukce. Jednak je nutné vhodně navrhnout geometrii zdi a dále například u gabionové zdi je posuzována tahová únosnost ocelové sítě. U železobetonové konstrukce je zapotřebí navrhnout a posoudit ocelovou výztuž tak, aby byl maximální ohybový moment a posouvající síla v průřezu menší než moment a posouvající síla na mezi únosnosti. Dále musí být dodrženy konstrukční zásady, které zároveň zajistí efektivní využití materiálů.

Do návrhu opěrné konstrukce je potřeba zahrnout také odvodnění formou drenáže a zásyp za rubem zdi z propustného nenamrzavého materiálu. Smyslem je svést vodu propustným materiálem do drenážního potrubí umístěného za patou konstrukce, přičemž je vyvedena příčně pod nebo přímo skrze opěrnou konstrukci. V závislosti na tom je zaústěna do kanalizace nebo do příkopového žlabu na povrchu. Odvodnění je prvek, který je při návrhu velmi důležitý, protože činnost vody může mít negativní vliv na stabilitu konstrukce.

2.2.4. Monitoring

Při tvorbě projektové dokumentace opěrných konstrukcí je nezbytné navrhnout monitoring – dočasný i trvalý. Podle Masopusta (2018) lze monitoringem nazvat soubor činností, mezi které patří zejména měření a vyhodnocování výsledků měření za účelem ověření platnosti předpokladů, nebo i výsledků statických výpočtů a ověření předpokládaného chování konstrukce z dlouhodobého hlediska. Monitoring umožňuje včas získat věrohodné informace o chování geotechnických konstrukcí.

Průběh monitoringu začíná návrhem, jenž je zahrnut do realizační dokumentace stavby (RDS). Je ovlivněn mnoha faktory a velkou roli u něj hraje zkušenost geotechnického inženýra, který monitoring navrhuje a provádí. Osazení prvků monitoringu je nutné provést včas. Některé metody vyžadují své zabudování už před nebo během realizace opěrné konstrukce (například inklinometry). Dalším krokem je samotné měření v předem definovaných intervalech nebo operativně, pokud to situace vyžaduje. Následuje okamžité vyhodnocení naměřených hodnot, které determinuje doporučení pro další postup prací. (Masopust, 2018)

Metody monitoringu jsou různé, přičemž nejběžnějším způsobem je umístění stabilizovaných bodů, jejichž posuny jsou měřeny pomocí totální stanice. V podkapitole 4.6. je forma těchto stabilizovaných bodů popsána detailněji. Dalšími využívanými formami jsou měření inklinometrická, tenzometrická, dynamometrická, piezometrická nebo měření georadarem. (Masopust, 2012)

2.3. Základní rozdělení opěrných konstrukcí

2.3.1. Gravitační zdi

Nejjednodušším typem opěrné konstrukce je gravitační zeď, která pro stabilizaci svahu využívá svou vlastní tíhu, přičemž není navrhována, aby odolávala posunutí v základové spáře. (Ballester Muñoz, 1999) Aby mohly tyto zdi plnit svůj účel, jsou velké jejich rozměry i kubatura používaného materiálu, což má za následek vyšší ekonomické náklady. Klasické gravitační zdi jsou budovány z prostého betonu, který může být v některých případech lehce vyztužen. V minulosti bývaly tížné zdi zděné. Principy gravitačních zdí využívají dnes nejpopulárnější zdi gabionové.

Gabionové (drátokamenné) zdi jsou tvořeny koši (většinou kvádrového tvaru) vyrobenými z pozinkovaného drátěného pletiva nebo svařovaných ocelových mřížovin vyplněných lomovým kamenem. Gabionové koše jsou mezerovité bloky, které dohromady tvoří celek, jehož statické fungování je dáno jeho tíhou stejně jako u tížných zdí. Konstrukce je díky absenci pojiva a jemné frakce dobře propustná, nicméně je vhodné ji chránit filtrační geotextilií před zanášením jemnou frakcí. Často je budován za rubem zdi filtr, což je vertikální vrstva z vysoce propustného materiálu odděleného geotextilií. (TKP 30, 2009)

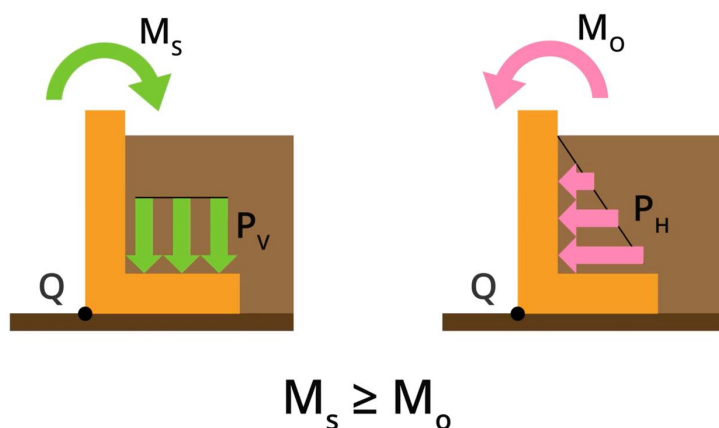
Gabiony lze uplatnit také ve formě tzv. matrací (jejichž výška je nejmenším rozměrem a zároveň je menší než 500 mm) pro přitěžování svahů. Na rozdíl od klasických gabionů bývá na povrch matrací rozprostřena ornice s osivem.

Gabionové zdi se oproti monolitickým železobetonovým stěnám vyznačují nižší cenou, jednodušší a rychlejší výstavbou a také příjemnějším estetickým dojmem. Podrobný popis realizace gabionové zdi je předmětem čtvrté kapitole této práce.

2.3.2. Úhlové zdi

Úhlové zdi jsou dle Smoltczyka (2002) i Eurokódu 7 řazeny mezi zdi gravitační, ale jejich princip inovují a fungují sofistikovaněji. Kromě vlastní tíhy využívají i tíhu zeminy za rubem zdi, čímž zvyšují odolnost vůči horizontálnímu posunutí a překlopení (Obrázek 1). Aby toho byly schopny, je jejich příčný průřez navrhován ve tvaru L nebo T. Úhlové zdi, jejichž výška

přesahuje pět metrů, jsou vyztužovány žebry trojúhelníkového tvaru (tloušťky 0,25 až 0,50 metru). Žebra se umísťují ve vzdálenosti 1/3 až 1/2 výšky stěny. (Procházka, 2017)



Obrázek 1 – Odolnost vůči překlopení zdi díky tíze zadržované zeminy (Brodland, 2018)

Konstrukce úhlových zdí jsou železobetonové. Svislá část konstrukce (tzv. dírk) je namáhána zemním tlakem na ohyb (princiálně jako konzola vetknutá do základové desky). Ohybem vzniká ve stěně na rubové straně tah, vůči kterému je navrhována ocelová výztuž. Na ohyb je také namáhána základová deska, která musí být vyztužena při dolním i horním povrchu. Důvodem je působení tíhy zeminy shora a reakce podloží zdola. (Procházka, 2017) Takto navržená stěna je štíhlejší, díky čemuž je snížen objem materiálu i celková hmotnost. Dále je díky základové desce roznášena hmotnost na větší půdorysnou plochu. To všechno umožňuje použití úhlových zdí na méně únosném podloží. Nevýhodou je, že při realizaci v zářezu je vyžadován větší objem zemních prací z důvodu širší základové spáry.

Výše uvedené informace potvrzuje norma ČSN 73 0037, podle které jsou úhlové zdi definovány jako vylehčené opěrné zdi se svislou nebo mírně šikmou stěnou, zpravidla vyztuženou žebry, a se základovou deskou. Úhlové zdi mohou být realizovány monoliticky, přesto jsou nejčastěji sestavovány z kompletně nebo částečně prefabrikovaných dílců (prefabrikovaná je pouze její svislá část nebo základová deska). V případě částečné prefabrikace je zbývající část zdi řešena monolitickým železobetonem in situ. Délky jednotlivých dílců se podle vybraných výrobců pohybují mezi 0,5 až 1,5 m. Ballester Muñoz a Álvarez Ortega s ohledem na výrobu, přepravu a montáž uvádí limitní rozměry prefabrikovaného dílce, jehož výška činí 4,0 m, šířka 2,4 m a délka 2,5 m. Samotná realizace prefabrikované úhlové zdi je detailně popsána v kapitole 5. Uplatnění těchto kompletně

prefabrikovaných dílců lze nalézt také například v zemědělství nebo na betonárnách, kde zajišťují oddělení jednotlivých sypkých materiálů.

2.3.3. Další typy zdí v dopravním stavitelství

Pokud je nutné stabilizovat svah tvořený skalními horninami, jsou k tomu využívány obkladní zdi. V tomto případě není potřeba odolávat zemnímu tlaku, ale zajišťovat ochranu před zvětráváním a zabránit odpadávání skalních úlomků, které již erozí vznikly. Za stejným účelem lze využít také geomříže překryté stříkaným betonem. (Radimský, 2007)

Jednou z možností při návrhu opěrné zdi je konstrukce z vyztužené zeminy v kombinaci s pohledovým prvkem (např. betonové panely nebo betonové tvarovky). Zemina je vyztužována mezi každou vrstvou, které mají zhutnitelnou tloušťku. K vyztužování jsou využívány geotextilie, geomříže nebo geobuňky. Tato technologie je nejvhodnější pro realizaci vyztužených násypů. Pokud jsou jako pohledový prvek použity betonové tvarovky, je tato konstrukce označována jako skládaná opěrná zeď. Prefabrikované betonové tvarovky jsou duté a vyplněny zhutněnou zeminou (případně může být použit beton nebo plné tvarovky). Bez vyztužení zeminy lze realizovat jen nízké skládané zdi. Díky tvarovkám vyrobených se zámkem nebo sklonu líce zdi není nutné při realizaci používat mezi jednotlivé řady tvarovek pojivo, tj. maltu. Výhodou této technologie je její využití v méně přístupných místech, kde je nutné stěnu realizovat ručně.

Norma ČSN EN 1997-1 mezi opěrné konstrukce zahrnuje také vetknuté stěny, které jsou ale běžně řazeny mezi konstrukce pažící. Přesto své využití v dopravním stavitelství mají. Například štětovnicové stěny jsou užívány pro stabilizaci stavební jámy při realizaci přechodových oblastí mostů.

V neposlední řadě je potřeba zmínit stěny pilotové, které jsou uplatňovány jako zárubní zdi nebo trvalé pažení. V případě zárubních zdí bývají často navrhovány v kombinaci s kotvami a jsou používány například při sanaci sesuvů. (Paseka, 2014) Pilotové stěny jsou realizovány pouze z pilot vrtaných a podle jejich rozteče jsou klasifikovány jako pilotové stěny s velkou osovou vzdáleností, tangenciální nebo převrtávané. (Masopust, 2018)

3.Realizace zárubní zdi v zářezu dálnice D48

Součástí této práce je představení realizace konkrétní gabionové zárubní zdi, jež je součástí stavby dálnice D48 Rybí – MÚK Rychaltice. Ta řeší rekonstrukci původní silnice první třídy v úseku mezi zmíněnými obcemi. Silnice I/48 byla vybudována jako čtyřpruhová a směrově nerozdělená. Vysoký nárůst intenzity dopravy způsobil snížení bezpečnosti a plynulosti silničního provozu. Absence středního dělicího pásu měla za následek mnoho, často tragických, dopravních nehod. Cílem stavby bylo přestavět tuto silnici na dálnici II. třídy v kategorii R 25,5/120. V této kategorii je dálnice směrově dělená středním dělicím pásem, jízdní pruh má šířku 3,75 metru a zpevněná krajnice 2,50 metru. Vozovka se oproti původnímu uspořádání kategorie S 15/100 rozšířila přibližně o 10 metrů. Toto rozšíření vyžadovalo rozšíření zemního tělesa, které vedlo mimo jiné k vybudování tří opěrných a deseti zárubních zdí, přičemž jedna z nich je předmětem této práce. (Dálnice D48 Rybí – MÚK Rychaltice, 2020)

Majetkovým správcem a objednatelem stavby s celkovou cenou (dle smlouvy) 2,1 miliardy korun bylo Ředitelství silnic a dálnic ČR, přičemž zhotovitelem celé stavby byla Společnost Metrostav + Swietelsky + Colas, D48 Rybí – MÚK Rychaltice. Pozici správce tohoto sdružení zastávala společnost Metrostav Infrastructure a.s., která měla na starosti například stavební objekty hlavní trasy. Celý úsek dálnice D48 mezi obcemi Rybí a Rychaltice byl slavnostně uveden do provozu 15. prosince 2020.

Hlavní trasa je rozdělena do dvou úseků mimoúrovňovou křižovatkou Příbor – západ. Úsek hlavní trasy mezi obcí Rybí a městem Příbor nese označení stavební objekt (SO) C103. V pravém jízdním pásu tohoto úseku se nachází také předmětná zárubní zeď (SO C271), která stabilizuje zářez v blízkosti obce Libhošť. Gabionová zeď C271 je situována přibližně 560 metrů od začátku úseku v souběhu se silnicí, přibližně dva metry od hrany zpevnění. Její délka činí 130 metrů a navazuje na původní železobetonovou zeď, která v rámci stavby nebyla upravována. Výstavba zdi do značné míry ovlivňovala postup prací při realizaci hlavní trasy. Přestože se jednalo o samostatný stavební objekt, tvoří zeď součást zemního tělesa pozemní komunikace. Proto mohly být veškeré práce, počínaje odkopem původních konstrukčních vrstev a realizací aktivní zóny, zahájeny až po dokončení zárubní zdi.

3.1. Příprava staveniště

Samotné stavbě předchází fáze přípravy staveniště, během které je nutné přichystat místo stavby do takové podoby, aby bylo možné jednoduše realizovat veškeré stavební práce. V případě nutnosti příprava staveniště zahrnuje povrchové odvodnění, případné oddělení staveniště od veřejnosti nebo například odstranění kontaminované zeminy. Všechny práce, jež příprava staveniště zahrnuje, jsou uvedeny v Technických kvalitativních podmínkách staveb pozemních komunikací (TKP), konkrétně v Kapitole 2 Příprava staveniště. V místě řešené zárubní zdi jako první proběhlo kácení a odstranění původních vzrostlých dřevin a křovin. Vzhledem k absenci povrchových vod a hladině podzemní vody v dostatečné hloubce nebylo zapotřebí v místě stavby zdi řešit odvodnění. Těsně před zahájením zemních prací byl proveden úklid staveniště a kosení trávy, aby bylo zamezeno kontaminaci ornice. Co se týče hlavní trasy, došlo na přelomu listopadu a prosince 2019 k převedení dopravy na hotový levý jízdní pás, což umožnilo odfrézovat původní asfaltové vrstvy v místech před řešenou zdí. Neznečištěný asfaltový recyklát, který se používá buď jako příměs do asfaltových směsí nebo jako materiál nezpevněné krajnice. Další stavební práce na hlavní trase pokračovaly až po dokončení zárubní zdi.

Výstavbě předchází a zároveň ji celou dobu doprovází geodetické práce. Důležité je zejména vytyčení bodů, které na staveništi polohově a výškově vymezí samotnou konstrukci, případně související prvky. Dále je geodetem vše průběžně zaměřováno a po dokončení stavby je provedeno zaměřením skutečného provedení. Výstupem tohoto měření je geodetický protokol.

3.2. Zemní práce I.

Ve chvíli, kdy je staveniště připraveno, lze zahájit zemní práce. V této fázi výstavby se jako první provedla skrývka ornice, která byla uložena na dočasnou deponii pro další využití. Sejmutí drnu bylo prováděno zpravidla v tloušťce přibližně 10 cm, nicméně se mocnost ornice lokálně lišila. Ornice musí být dle TKP 4 za účelem dalšího použití deponována separátně od ostatní zeminy. Samotnou skrývku lze provádět dozerem nebo například kolovým rypadlem se svahovací lžící.

Následně bylo provedeno odtěžení svahu s pomocí kolového rypadla a dvou nákladních vozidel. Odtěžená zemina byla dočasně deponována na odfrézovanou hlavní trasu před sousední stávající zárubní zeď. Toto řešení bylo zvoleno s úmyslem snížení nákladů za přepravu materiálu. Během odtěžování zeminy bylo nutné dbát na dodržování zásad pro realizaci stavebních jam. Její zabezpečení bylo na základě geotechnického průzkumu navrženo pomocí svahování ve sklonu 1:1,75, který byl vzhledem k nezastižené podzemní vodě shodný s maximálním zjištěným úhlem vnitřního tření odtěžované zeminy. Pokud by byla podzemní voda zastižena, návrh sklonu by se lišil. Ve svahově nestabilním území nebo v případě jiných nepříznivých podmínek by bylo zapotřebí navrhnout paženou stavební jámu (zabezpečenou pomocí například záporového pažení nebo štětovnicových stěn).



Obrázek 2 – Odtěžování zeminy ze zářezu



Obrázek 3 – Odtěžování a odvoz zeminy ze zářezu

Zemina se začala odtěžovat od koruny svahu, přičemž byla použita jako dočasná přítěžovací lavice (tzv. stabilizační přísyp), která byla odtěžena posléze. Důvodem tohoto postupu bylo zamezení odlehčení paty svahu, což by mělo za následek potenciální sesuv. Přítěžovací lavice vytvoří jednak pasivní síly stability svahu ale zároveň i prostor, kde se může rypadlo pohybovat a zeminu odebírat (Obrázek 2). Při výkopových pracích byl stavbyvedoucím prováděn pravidelný denní monitoring svahů. Pro případ svahových poruch byl zhotovitelem před zahájením prací vyhotoven havarijní plán, který obsahuje kromě zásad bezpečnosti a ochrany zdraví při práci také základní metody ochranných a sanačních opatření. Postup prací v případě svahových poruch přesto určuje geotechnik zhotovitele. Mimo jiné je v tomto plánu uvedena nutnost denního monitoringu a týdenní kontroly těžitelnosti zemin, geologických poměrů a stability dočasných výkopů (provádí geotechnik objednatele).

PŘÍČNÝ ŘEZ A-A C 271

ŘEZ V KM 22,520

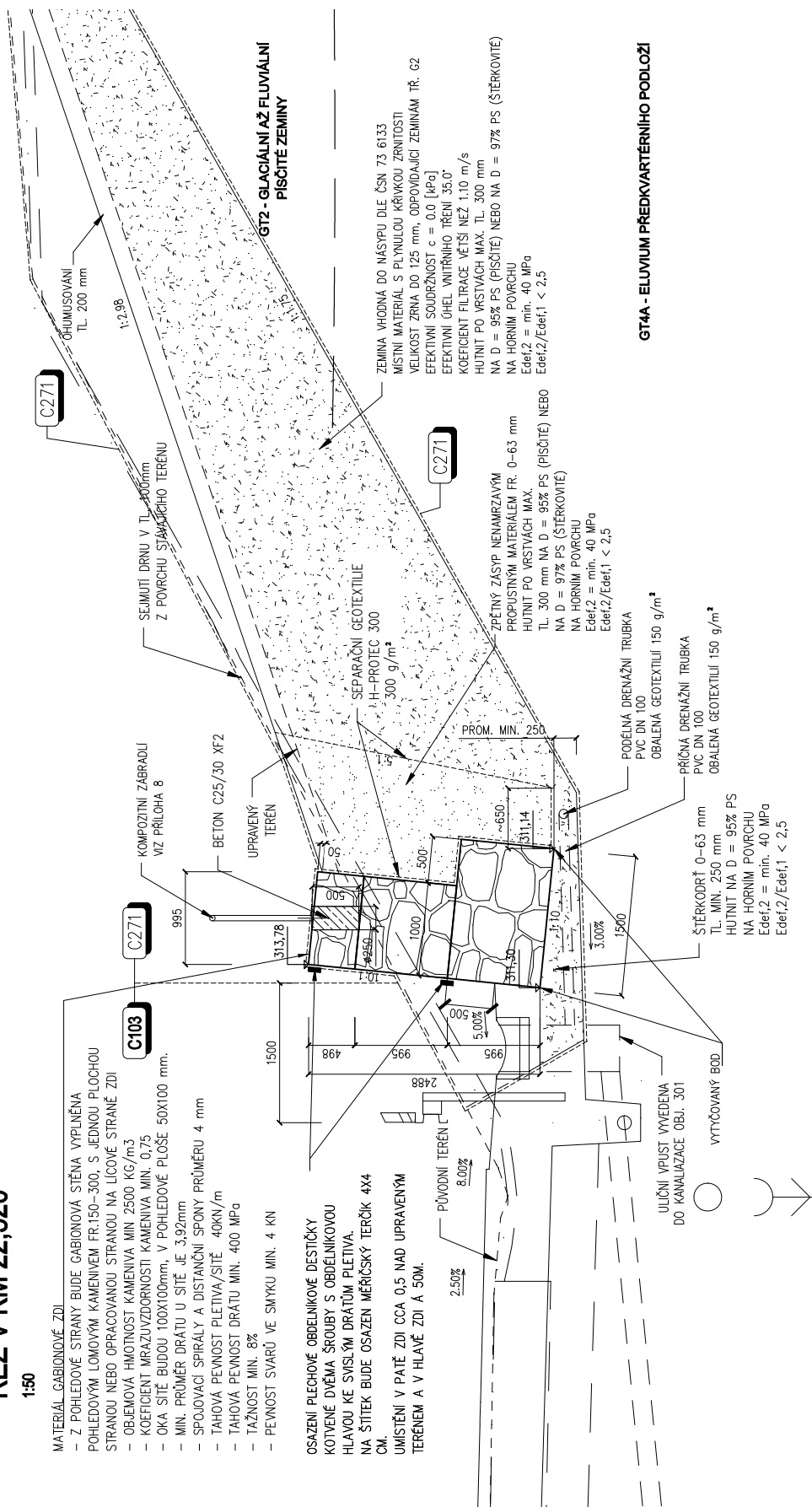
1:50

MATERIÁL GABIONOVÉ ZDI

- Z POHLEDOVÉ STRANY BUDE GABIONOVÁ STĚNA VYPLNĚNA POHLEDOVÝM LOMOVÝM KAMENÍM FR.150-300, S JEDNOU PLOCHOU STRANOU NEBO OPRAVOVANOU STRANOU NA LICOVÉ STRANĚ ZDI
- OBJEMOVÁ HMOTNOST KAMENIVA MIN 2500 KG/m³
- KOEFICIENT MRAZUVYDORNOSTI KAMENIVA MIN. 0,75
- OKA SÍTĚ BUDOU 100X100mm, V POHLEDOVÉ PLOŠE 50X100 mm.
- MIN. PRŮMĚR DRÁTU U SÍTĚ JE 3,92mm
- SPOJOVACÍ SPIRÁLY A DISTANČNÍ SPONY PRŮMĚRU 4 mm
- TAHOVÁ PEVNOST PLETIVA/SÍTĚ 40kN/m
- TAHOVÁ PEVNOST DRÁTU MIN. 400 MPa
- TAŽNOST MIN. 8%
- PEVNOST SVARŮ VE SMIKY MIN. 4 kN

OSAZENÍ PLECHOVÉ OBDELNIKOVÉ DESTIČKY
KOTVENÉ DVĚMA ŠROUBY S OBDELNIKOVOU
HLAVOU KE SVISLÝM DRÁTŮM PLETIVA.
NA ŠTÍTEK BUDE OSAZEN MĚŘÍČKÝ TERČÍK 4X4
CM.

UMÍSTĚNÍ V PATĚ ZDI CCA 0,5 NAD UPRAVENÝM
TERÉNEM A V HLAVĚ ZDI Á 50M.



Obrázek 4 – Vzorový příčný řez gabionovou zdí (převzato z RDS SO C271)

3.3. Založení zárubní zdi

Gabionové konstrukce díky své vysoké flexibilitě, mezerovitosti a vodopropustnosti nevyžadují, aby byla jejich základová spára umístěna v nezámrazné hloubce. Hloubka založení byla stanovena v RDS a vychází z poznatků inženýrskogeologického průzkumu (Zoglobossou, Hodný, 2007) a statického výpočtu. Bylo předpokládáno, že bude základová spára tvořena rozloženými jílovci a prachovci s vlastnostmi středně až vysoce plastických jílů. Aby bylo zabráněno zvětrávání základové spáry, byla navržena v hloubce přibližně 0,5 metru.



Obrázek 5 – Odvodnění gabionové zdi



Obrázek 6 – Hotový polštář a vytyčení líce zdi

Odtěžení do úrovně základové spáry proběhlo těsně před samotnou realizací zdi, aby byla ochráněna před staveništním provozem během první fáze zemních prací. Základová spára byla vyrovnána do sklonu 3 % směrem od svahu, aby se zamezilo zadržování vody za rubem zdi. Následně byla na základové spáře vytvořena vrstva (tzv. štěrkový polštář) ze štěrkodrti frakce 0/63 v tloušťce min. 250 mm. Na štěrkovém polštáři byl na základě vytyčovacíh bodů vytvořen opačný sklon 1:10, aby bylo možné vyskládat gabionové koše se sklonem líce zdi 10:1. Účelem polštáře je jednak roznášet hmotnost konstrukce, což je využíváno, pokud není zemina v podloží dostatečně únosná. V tomto případě byla zemina únosná, ale základová spára vyžadovala ochranu proti zvětrávání (viz výše). Zároveň štěrkový polštář umožňuje dokonale vyrovnat povrch, na který je umístěna spodní řada gabionových košů, což je z rostlého terénu technologicky náročné. Vrstva byla zhutněna tak, aby splňovala následující parametry předepsané v KZP (Kontrolní a zkušební plán): $D = 95 \%$,

$E_{\text{def},2} = \min 40 \text{ MPa}$ a $E_{\text{def},2}/E_{\text{def},1} < 2,5$. Kvalita zhutnění byla prováděna statickou zatěžovací zkouškou a půdním objemovým denzitometrem v kombinaci se zkouškou Proctor Standard.

Za rubovou stranou zdi byla v této vrstvě umístěna podélná drenáž z perforované trubky o průměru 100 mm obalené geotextilií. Tato drenáž byla ve čtyřech místech příčně vyvedena pod zdí a zaústěna do uličních vpustí monolitického příkopového žlabu (Obrázek 5). Drenáž byla také napojena na původní potrubí za rubem sousední zdi.

3.4. Realizace zdi

Nejdříve je na vyrovnaný štěrkový polštář umístěna mříž tvořící dno koše. K němu jsou pomocí vázacích spirál připevněny boční stěny (svislé mříže sousedících košů jsou tzv. příčky). Tento proces se provádí kontinuálně po vodorovných řadách, takže jednotlivá dna jsou postupně svazována a k nim připevňovány svislé mříže. Takto vzniknou otevřené koše, do kterých je nasypána vrstva kameniva frakce 16/32, aby byla zajištěna jejich stabilita během vyplňování lomovým kamenem. Následně jsou na přední stranu řady košů přidráťovány ocelové (lešenářské) trubky pro zajištění jejího vyrovnaní a následné rovinatosti líce zdi. Dále jsou do každého koše umístěny distanční spony (Obrázek 9), které jsou jakožto ztužující prvek používány pro zachování tvarové stability gabionové zdi. Tyto spony jsou umísťovány v přibližně 30cm výškových intervalech a v horizontálním směru musí být umístěny dvě spony na jeden metr délky gabionu. Dále se spojují protilehlé stěny pomocí výztužného drátu, čímž je zamezeno vydouvání líce gabionu tlakem uloženého kamene. (TKP 30, 2009)



Obrázek 7 – Montáž a plnění gabionových košů



Obrázek 8 – Realizace gabionové zdi

V tuto chvíli může začít samotné vyplňování, které je prováděno částečně strojně a částečně ručně. Kolovým rypadlem je do košů opatrně vsypáván lomový kámen a následně je ručně vyskládán líc gabionové zdi. Během plnění probíhá vizuální sledování, zdali nedochází k jakýmkoliv deformacím.

Po naplnění všech košů v jedné řadě, jsou k bočním stěnám pomocí spirál připevněny mříže tvořící víka košů a boční stěny další řady. Obojí se musí provádět najednou, protože je spojení provedeno jednou spirálou (Obrázek 10). Následně je na víko spodního koše, které tvoří dno horního koše, vysypána vrstva kameniva 16/32 stejně jako ve spodní řadě a proces montáže se opakuje. Při realizaci poslední řady košů jsou do vík vytvořeny otvory a mezi kamenivo jsou usazeny kusy PVC trubek (Obrázek 8) pro zabudování doplňujících prvků (viz podkapitola 4.6.).



Obrázek 9 – Distanční spony



Obrázek 10 – Detail spojení gabionových košů

3.5. Zemní práce II.

Druhá část zemních prací spočívá ve zpětném zásypu za rubem zhotovené zdi, který byl proveden z původní zeminy získané odtěžením v předchozí fázi zemních prací. Odtěžená zemina se skládala převážně z hlusiny, u které bylo před jejím použitím nutné provést kvalitativní zkoušky. Zkoumala se především namrzavost a obsah uhlí, který musí být menší než 8 %. Dále musela být zatříděna a klasifikována podle vhodnosti pro použití do násypu. Přestože hlusina vyhověla a mohla být použita, způsobil tento proces zdržení stavby o tři týdny. Zemina použitá pro zpětný zásyp musí být vhodná dle ČSN 73 6133 a zároveň

nenamrzavá a propustná, aby byla schopna odvádět vodu k drenážnímu potrubí, které je umístěno u paty za rubem zdi. Zásyp byl prováděn souběžně s montáží gabionových košů, přičemž na rub zdi byla umístěna separační geotextilie o plošné hmotnosti 300 g/m², která zabraňuje zanášení konstrukce jemnozrnnou zeminou (Obrázek 11).

Pro tuto fázi zemních prací bylo využíváno kolové rypadlo na nakládku zeminy a dva nákladní automobily pro její přesun. Pro rozprostření zeminy do jednotlivých vrstev bylo využito menší pětitunové pásové rypadlo se svahovací lžící (Obrázek 11). Aby bylo zajištěno dostatečně kvalitní zhutnění (požadavky shodné s těmi na štěrkový polštář, viz podkapitola 4.3.), byl prováděn zásyp po vrstvách o mocnosti 300 mm. Hutnění probíhalo za pomoci vibrační desky a menšího vibračního válce na dálkové ovládání. Srovnávání a svahování zemního tělesa bylo prováděno průběžně také pomocí malého pásového rypadla. Na zásyp za rubem zdi byla spotřebována většina odtěžené zeminy. Hotový svah byl následně ohumusován vrstvou ornice v tloušťce 200 mm. Ve chvíli, když bylo rozprostření ornice dokončeno, byl na svahu založen trávník pomocí hydroosevu a zasazeny keře v rámci vegetačních úprav.



Obrázek 11 – Realizace zpětného zásypu



Obrázek 12 – Dokončené zemní práce

Kvalita provedení zpětného zásypu byla provedena pomocí kontrolních zkoušek definovaných v KZP – na celý objekt byl odebrán jeden vzorek pro stanovení zhutnitelnosti metodou Proctor Standard a klasifikaci zeminy pro použití do násypu. Během celé druhé fáze zemních prací byl na každé provedené vrstvě odebírán vzorek za účelem určení míry zhutnění.

3.6. Navazující činnosti

Za účelem sledování deformací byly na gabionových zdech osazeny plechové obdélníkové štítky kotvené dvěma šrouby ke svislým drátům pletiva. Štítek byl vyroben v přesném rozměru světlosti podélných prutů a vložen mezi ně tak, aby bylo zabráněno jeho posunu ve svislém směru. Štítky byly osazeny co nejblíže ke styku gabionových košů, tj. v místě nejmenších deformací pletiva. Umístěny byly každých padesát metrů ve dvou výškových úrovních, tj. v hlavě zdi a v její patě (přibližně 50 cm nad upraveným terénem). Na štítky byly osazeny měřičské terčíky o rozměru 4x4 cm (Obrázek 13). Geodetické měření bylo provedeno po zasypání do úrovně hlavy gabionů, po provedení plného zásypu a pravidelně ve dvouměsíčním intervalu až do předání objektu jeho správci. Měření bylo prováděno s přesností ± 20 mm dle RDS, která zároveň stanovila jako limitní odchylku 50 mm. Měřením byl sledován náklon, posun a sedání konstrukce.



Obrázek 13 – Geodetický štítek



Obrázek 14 – Kompozitní zábradlí

Dále bylo osazeno dvoumadlové kompozitní 1,1 metru vysoké zábradlí, které bylo kotveno do 500 mm vysokých PVC trubek vyplněných prostým betonem (Obrázek 14). Osazením zábradlí byla zárubní zeď kompletně dokončena a bylo možné pokračovat v realizaci hlavní trasy.

4. Statické posouzení gabionové a prefabrikované železobetonové zárubní zdi

Jak již bylo zmíněno, předmětem této práce je srovnání dvou technologií zárubních zdí. Cílem této kapitoly je provést vlastní statické posouzení gabionové zdi pro konkrétní geotechnické podmínky a požadovaný tvar terénu. Následně je pro stejné podmínky navržena alternativní úhlová železobetonová zeď, která je uvažována jako prefabrikovaná.

Pro návrh geologického profilu bylo využito sond prováděných během podrobného geotechnického průzkumu, ze kterého vychází také základní parametry vlastností zemin. Hladina podzemní vody byla zastižena v hloubce 11 metrů, a tudíž do výpočtu nevstupuje. Ve výpočtu byl zohledněn pohyb mechanizace formou proměnného pásového přetížení.

Zárubní zeď, která je předmětem praktické části této práce, byla v rámci podrobného geotechnického průzkumu (Zoglobossou, Hodný, 2007) zařazena do 2. geotechnické kategorie. Zářez, ve kterém se zeď nachází, byl zařazen do 3. geotechnické kategorie.

4.1. Posouzení realizované gabionové zdi

Nejprve bylo provedeno vlastní statické posouzení skutečné gabionové zdi, jejíž realizace byla detailně popsána v předchozí kapitole. Veškeré rozměry a pevnostní charakteristiky zdi byly převzaty z RDS (Obrázek 4). Gabionová zeď má výšku 2,49 metru a sklon jejího líce je $5,70^\circ$. Celkový objem zdi činí $3,00 \text{ m}^3/\text{bm}$. Založení zdi bylo uvažováno na geologickém profilu (zvětralé jílovce a prachovce) a zásyp za zdí ve sklonu 30° z odtěžené štěrkovité zeminy, přičemž konkrétní parametry obou zemin jsou uvedeny v Příloze A. Odpor na líci konstrukce není při výpočtu uvažován a návrhová situace je nastavena jako trvalá.

Posouzení bylo provedeno v modulu „Gabion“ geotechnického programu GEO5 2021 podle všech návrhových přístupů uvedených v ČSN EN 1997-1 (NP1, NP2 a NP3). Návrhový přístup 1 využívá dvou souborů součinitelů, které jsou použity ve dvou oddělených výpočtech. U kombinace 1 jsou použity dílčí koeficienty pouze na zatížení (ostatní součinitelé mají hodnotu 1,0). Kombinace 2 dílčí součinitelé uplatňuje na parametry zemin a proměnné zatížení (ostatní součinitelé mají také hodnotu 1,0). NP2 uplatňuje dílčí součinitele na zatížení

a na odpor materiálu (únosnost). NP3 aplikuje dílčí součinitele současně na zatížení a charakteristiky zemin. (Online nápověda GEO5/Gabion, 2021)

Zed' byla posouzena na překlopení a posunutí. U základové půdy byla posouzena její únosnost a excentricita normálové síly. Dále bylo provedeno u pracovní spáry nad blokem č. 1 posouzení na překlopení, posunutí, únosnost na boční tlak a posouzení spáry mezi bloky. V neposlední řadě byla posouzena stabilita svahu podle pěti různých metod – dle Bishopa, dle Felleniuse a Pettersona, dle Spencera, dle Janbua a dle Morgensterna a Price. Procentuální vyjádření posouzení stability svahu představuje poměr pasivních a aktivních sil, respektive jejich momentů, nad uvažovanou smykovou plochou. Pasivní síly sesuvu brání, zatímco aktivní jej vyvolávají. Pro výpočet stability svahu byla uvažována optimalizovaná kruhová smyková plocha.

Posuzovaná gabionová konstrukce vyhověla pro všechna zmíněná posouzení podle všech zmíněných návrhových přístupů. Dílčí výsledky jsou uvedeny v konkrétních statických výpočtech (viz Příloha A). V Tabulce 1 je uvedeno přehledné srovnání čerpání únosností u jednotlivých posouzení podle všech návrhových přístupů Eurokódu 7.

Tabulka 1 – Čerpání únosností při posuzování gabionové konstrukce

Posouzení gabionové zdi podle ČSN EN 1997-1		NP1 komb. 1	NP1 komb. 2	NP2	NP3
Posouzení celé zdi	Posouzení na překlopení	24,51%	27,85%	34,32%	27,85%
	Posouzení na posunutí	22,69%	39,03%	24,96%	39,03%
Únosnost zákl. půdy	Posouzení excentricity	21,02%		21,02%	26,43%
	Posouzení únosnosti zákl. spáry	38,29%		38,29%	40,23%
Posouzení prac. spáry nad blokem č. 1	Posouzení na překlopení	13,94%	11,11%	19,53%	11,11%
	Posouzení na posunutí	14,61%	11,75%	16,07%	14,69%
	Únosnost na boční tlak	21,18%		23,29%	25,83%
	Posouzení spáry mezi bloky	21,18%		23,29%	25,83%
Posouzení stability svahu	Bishop	53,7%	56,8%	55,3%	56,8%
	Felleniusm / Petterson	54,6%	57,4%	60,1%	57,7%
	Spencer	53,9%	57,0%	59,3%	57,0%
	Janbu	53,9%	57,0%	59,3%	57,0%
	Morgenstern - Price	53,9%	57,0%	59,3%	57,0%

4.2. Alternativní návrh a posouzení prefa. úhlové zdi

K realizované gabionové zdi, jež byla v předchozí části posouzena byla v rámci této práce v souladu s normou ČSN EN 1997-1 navržena alternativní železobetonová zeď, která je předpokládána jako prefabrikovaná. Návrh zdi ve tvaru L byl proveden v modulu „Úhlová zeď“ geotechnického programu GEO5 2021. Výška je shodná s gabionovou zdí, aby byla zachována úroveň původně projektovaného terénu a výškový rozdíl, který zeď vytváří.

Při návrhu bylo samozřejmě postupováno tak, aby vyhověla všechna posouzení, aby byla zeď ekonomicky výhodná a hlavně vyrobitelná (především s ohledem na přepravu). Přestože byla geometrie zdi původně zamýšlena jako téměř dokonalý tvar L, který by vyhověl v posouzeních s podobnou rezervou jako gabionová zeď, konkrétní geometrie zdi, respektive jednotlivých dílců, byla zvolena podle technologických možností výrobního závodu PREFA Grygov a.s., který byl vybrán především s ohledem na dojezdovou vzdálenost (66 km). Zeď těchto rozměrů byla zasazena do stejných (skutečných) geotechnických podmínek jako gabionová zeď v předchozí části této práce. Veškeré výchozí parametry (např. geologický profil nebo tvar terénu) byly tedy převzaty z posouzení gabionové konstrukce. Pro založení zdi byl navržen podkladní beton tloušťky 0,2 metru (předpokládaná třída betonu je C30/37 XF4). Z technologických důvodů byla šířka betonu navržena větší o 0,2 metru (na obě strany) než je šířka paty zdi. Zásyp za zdí bude proveden ve sklonu 30° z odtěžené štěrkovité zeminy stejně jako v případě gabionové zdi. Návrhová situace je nastavena jako trvalá a odpor na líci konstrukce není při výpočtu uvažován.

Posouzení bylo provedeno ve zmíněném modulu geotechnického programu GEO 5 podle všech návrhových přístupů uvedených v ČSN EN 1997-1 (NP1, NP2 a NP3) stejně jako v případě gabionové konstrukce. Zeď byla posouzena na překlopení a posunutí. U základové půdy byla posouzena její únosnost a excentricita normálové síly. Dále byla v rámci dimenzování posouzena přední a zadní výztuž v dířku zdi na smyk a ohyb. Stejné posouzení bylo provedeno rovněž pro výztuž v patě zdi. Pro všechnu uvedenou ocelovou výztuž byly zhodnoceny také konstrukční zásady. V neposlední řadě byla posouzena stabilita svahu metodou podle pěti různých metod – dle Bishopa, dle Felleniuse a Pettersona, dle Spencera, dle Janbua a dle Morgensterna a Price. Pro výpočet stability svahu byla uvažována optimalizovaná kruhová smyková plocha.

Posuzovaná úhlová zeď vyhověla pro všechna zmíněná posouzení podle všech uvedených návrhových přístupů. Dílčí výsledky jsou uvedeny v konkrétních statických výpočtech (viz Příloha B). V Tabulce 2 je uvedeno přehledné srovnání čerpání únosností u jednotlivých posouzení podle všech návrhových přístupů Eurokódu 7.

Tabulka 2 – Čerpání únosností při posuzování úhlové zdi

Posouzení úhlové zdi podle ČSN EN 1997-1		NP1 komb. 1	NP1 komb. 2	NP2	NP3
Posouzení celé zdi	Posouzení na překlopení	59,2%	77,3%	82,9%	77,3%
	Posouzení na posunutí	71,6%	89,7%	78,8%	89,7%
Únosnost zákl. půdy	Posouzení excentricity	92,8%		62,2%	88,3%
	Posouzení únosnosti zákl. spáry	73,5%		79,4%	75,3%
Dimenzování: posouzení dřívku	Přední výztuž na smyk - V_{Ed}	0,0%		0,0%	0,0%
	Přední výztuž na ohyb - M_{Ed}	0,0%		0,0%	0,0%
	Přední výztuž - konstr. zásady	77,0%		-	77,0%
	Zadní výztuž na smyk - V_{Ed}	10,0%		7,2%	10,0%
	Zadní výztuž na ohyb - M_{Ed}	8,1%		5,4%	8,3%
	Zadní výztuž - konstr. zásady	77,0%		77,0%	77,0%
Dimenzování: posouzení paty	Posouzení na smyk - V_{Ed}	27,5%		20,5%	28,0%
	Posouzení na ohyb - M_{Ed}	13,0%		11,8%	13,5%
	Konstrukční zásady	77,0%		77,0%	77,0%
Posouzení stability svahu	Bishop	51,6%	55,8%	56,8%	56,2%
	Fellenius / Petterson	55,8%	59,0%	66,7%	63,3%
	Spencer	57,1%	56,0%	62,8%	60,4%
	Janbu	57,1%	60,4%	62,8%	60,5%
	Morgenstern - Price	57,1%	60,4%	62,8%	60,5%

Použitý typ prefabrikovaných dílců disponuje možností zvětšit patu zdi dobetonováním in situ, což by mělo příznivý vliv na první čtyři druhy posouzení uvedených v tabulce 2. Tato úprava by nicméně v tomto případě mírně negativně ovlivnila posouzení stability svahu a měla by výrazný vliv na cenovou a ekonomickou náročnost konstrukce z hlediska realizace.

5. Komplexní srovnání řešených zárubních zdí

5.1. Porovnání vlastností, výhod a nevýhod

Přestože jsou obě zvolené technologie zárubních zdí navrženy pro stabilizaci stejného zářezu, plní svou funkci každá trochu jinak. Mají odlišné vlastnosti, výhody i nevýhody. V této podkapitole jsou představeny vybrané parametry srovnání, které se přímo netýkají samotné realizace těchto konstrukcí.

Za jednu z největších výhod gabionové konstrukce lze určitě považovat dobrou propustnost, díky níž za rubem zdi není zadržována voda. Gabionové koše také díky tomu rychle vysychají, čímž je do značné míry redukováno korozní namáhání. Životnost gabionové konstrukce je závislá na svařované ocelové mřížovině za předpokladu, že je výplňové kamenivo gabionu tvořeno pevnými úlomky hornin, které nepodléhají povětrnostním vlivům, neobsahují vodou rozpustné soli, neobtuhnají a nejsou křehké. Ochrana ocelové mřížoviny je prováděna antikorozní povrchovou úpravou, tj. pokovením zinkem, popřípadě zinkem v kombinaci s hliníkem (v závislosti na druhu a tloušťce pokovení může být životnost až 90 let).

Povětrnostní vlivy mají velký vliv na postupné opotřebení konstrukce, které má dopad na estetický dojem. Přestože je estetický dojem individuální záležitostí a nelze jej dokonale objektivně posoudit, lze konstatovat, že díky použití výše popsanych materiálů má gabionová konstrukce výhodu. Velkou zásluhu má použití přírodního materiálu jako pohledového prvku. Gabionová konstrukce je s ohledem na údržbu nenáročná, je plně recyklovatelná a ekologicky nezávadná. Ocelová mřížovina je recyklována ve formě šrotu, zatímco lomový kámen je možné použít znovu jako výplňové kamenivo do nových gabionových košů nebo například jako sanační materiál pro sanaci podloží násypu.

Přestože je realizace gabionové konstrukce relativně jednoduchou a rychlou činností, opravy případných poruch bývají problematické. Pokud by poškození ohrožovalo funkčnost konstrukce (těžká porucha), vyžadovala by oprava rozebrání značné části zdi. To vše z důvodu provázanosti jednotlivých gabionových košů (viz část 3.3.). K poškození může dojít už například při dosypávání nepevněné asfaltové krajnice, kdy může kolové rypadlo při nedostatečném dohledu ocelovou mříž potřhat (lehká až střední porucha). Běžnější jsou ale přílišné deformace

vlivem zatížení za rubem zdi, ke kterým by ale ve větší míře nemělo docházet díky dobré propustnosti a pružnosti gabionové konstrukce. Díky svým vlastnostem jsou velice variabilní, mají široké využití a jednou z jejich dalších výhod je například nepotřeba řešení dilatace.

Naopak železobetonové zdi mají tendenci vodu zadržovat a vyžadují mnohem důkladnější řešení odvodnění. Případný defekt nebo absence odvodnění může být příčinou poruchy zdi. Pro prostředí, které je výrazněji ovlivněno činností vody (ať už podzemní nebo povrchové), je tedy vhodnější konstrukce gabionová. Vzhledem k nepřítomnosti podzemní vody v řešeném zářezu, není odvodnění parametr, který by jednoznačně rozhodoval o výhodnosti jedné z technologií v tomto konkrétním případě.

Životnost betonových konstrukcí je limitována přítomností agresivních látek, střídavým působením mrazu, vibracemi nebo lokálním přetížením (TP 175, 2006). Degradaci konstrukce lze účinně redukovat pouze kvalitním návrhem, který zahrnuje například odpovídající třídu betonu, nebo pravidelnou údržbou. Betonové konstrukce jsou navrhovány na životnost padesát až sto let podle konkrétního účelu. U zárubní zdi je kromě předpokládaného zatížení zemním tlakem potřeba uvažovat také s chemickým namáháním, které je způsobenou dopravou (posypová sůl atd.) nebo agresivitou přilehlé zeminy. Pravidelná kontrola a údržba je činnost, kterou je potřeba u betonové konstrukce provádět v mnohem větší míře než u konstrukce gabionové, což je samozřejmě pro navrhovanou alternativu nevýhoda.

Již bylo zmíněno, že estetický dojem nelze objektivně hodnotit. Nicméně povrch betonové konstrukce je mnohem náchylnější k tomu, aby vnější vlivy způsobily degradaci nebo znečištění povrchu, což má negativní vliv na celkový dojem. Také díky absenci přírodních materiálů je tento aspekt pro navrhovanou prefabrikovanou úhlovou stěnu slabou stránkou. Co se týče ekologického dopadu, je betonová konstrukce také plně recyklovatelná. Při demolici je však potřeba separovat ocelovou výztuž, která je také recyklována ve formě šrotu. Beton je následně rozdrcen a dále používán formou betonového recyklátu, který najde své využití, stejně jako výše zmíněný výplňový lomový kámen, ve formě sanačního materiálu. Stejný způsob recyklace je využíván také například při demolici mostních konstrukcí.

Případné poruchy a jejich následné opravy jsou svou náročností podobné jako v případě gabionových zdí. Sanace lokálních poruch jsou pravděpodobně jednodušší, ale rozsáhlejší opravy jsou přesto komplikované. Odtěžení zpětného zasypu je zapotřebí

provést mnohem opatrněji a pro opravu jednoho dílce je potřeba odtěžit zeminu za okolními dílci (dohromady minimálně tři až pět dílců pro výměnu jednoho dílce). Poškození během provádění ostatních stavebních prací je méně pravděpodobné než v případě gabionové zdi. Případná drobnější poškození lze řešit lokální sanací.

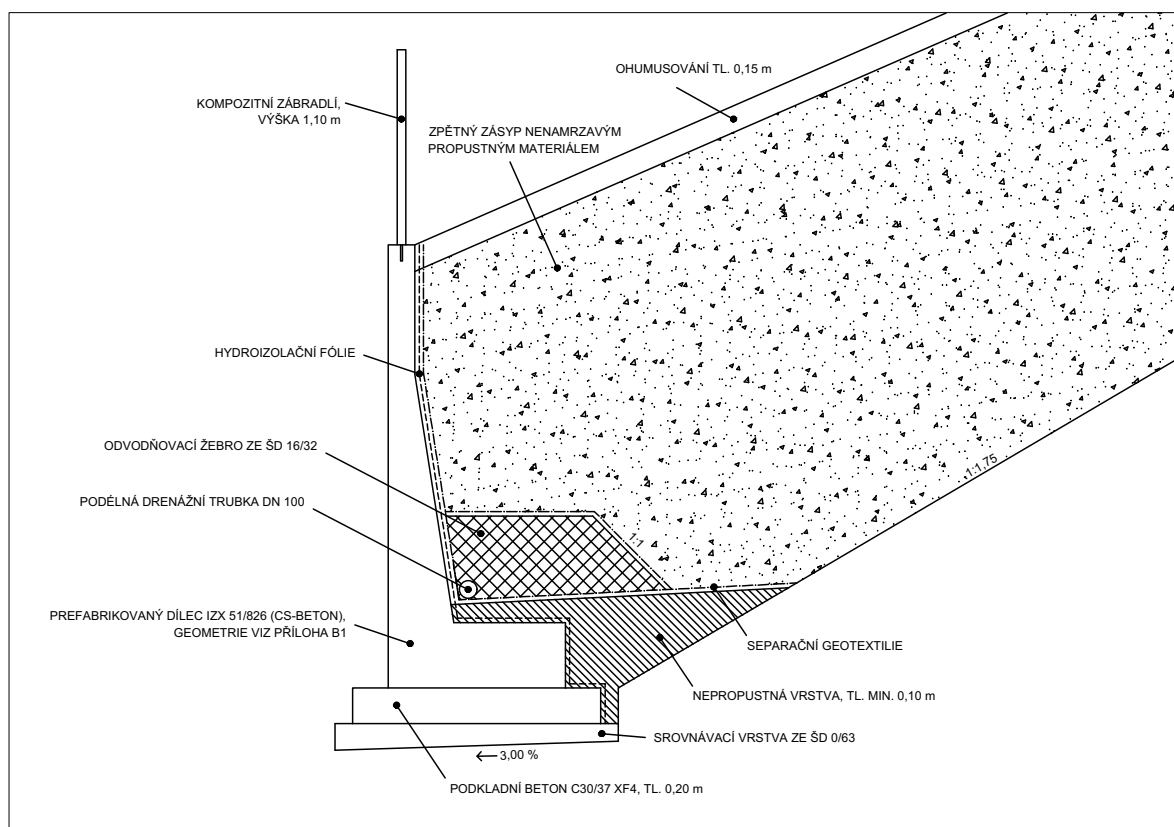
Dle TKP 30 by v běžných podmínkách výška tížné gabionové konstrukce neměla přesáhnout šest metrů. Prefabrikovaná stěna je výškou limitována daleko víc s ohledem na efektivní přepravu jednotlivých dílců. Maximální výška prefabrikovaných dílců je tedy čtyři metry (Ballester Muñoz, 1999), přičemž maximální výška zvoleného typu dílce je 3,75 metru. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, existuje možnost dobetonování paty dílce na místě, což by v případě maximální výšky bylo vyžadováno. Prefabrikované dílce je tedy vhodné používat pro stěny nižších výšek a ideálně v místech, kde nejsou za svým rubem namáhány tlakem vody. Řešený zářez je pro použití těchto dílců velmi vhodný.

Z hlediska realizace je často důležitým aspektem možnost provádění prací i za nepříznivých klimatických podmínek. Realizace gabionové konstrukce není nijak omezována, zatímco alternativní prefa. konstrukce vyžaduje během provádění podkladní konstrukce (betonáž) teploty větší než 5 °C. Lze argumentovat, že betonáž probíhá i u gabionové zdi (patky pro zábradlí, viz část 3.6.). V případě betonových patek však není omezováno provádění dalších stavebních prací.

Pro většinu výše porovnávaných parametrů je gabionová konstrukce výhodnější nebo minimálně srovnatelná. Parametry, kde je výhoda gabionu nejvýraznější, jsou propustnost, pružnost, bezúdržbovost, estetický dojem a mnohem větší variabilita použití. Jedinou potenciální výhodou alternativní konstrukce je celková životnost, která může být delší za předpokladu odpovídajícího návrhu a pravidelné údržby.

5.2. Náročnost realizace

Cílem této části bakalářské práce je představit alternativní technologický postup, který by byl vyžadován pro realizaci zárubní zdi z prefabrikovaných dílců. Zároveň bude provedeno praktické srovnání s realizací gabionové zdi, jejíž technologický postup byl detailně popsán ve třetí kapitole. Součástí tohoto konkrétního porovnání jsou tři základní parametry, které již byly několikrát zmíněny – technologická, cenová a časová náročnost výstavby. Za tímto účelem byl vytvořen návrh technologického řešení (Obrázek 15). Jedná se o zjednodušený vzorový příčný řez, pomocí kterého bylo určeno množství jednotlivých konstrukčních prvků a náročnost provádění jednotlivých fází (viz členění třetí kapitoly). Srovnání časové náročnosti vychází z poznatků na stavbě během realizace gabionové zdi a následného odhadu pro alternativní konstrukci.



Obrázek 15 – Zjednodušené schéma řešení alternativní prefa. železobetonové zdi

Důležitým aspektem tohoto řešení je kvalitní odvodnění, kterého je docíleno hydroizolační fólií podél celé konstrukce (Obrázek 15) a odvodňovacím žebrem s částečně perforovanou drenážní trubicí, která je umístěna rovnoběžně se stěnou v nejnižší úrovni

žebra. Tato drenáž může být vyvedena na konci konstrukce (musí být dodržen podélný sklon trubky pro zajištění gravitačního odvedení vody) nebo v určitých intervalech skrze konstrukci (do příkopového žlabu před lícem zdi). Vzhledem k nepřítomnosti podzemní vody je uvažováno s první možností. Aby byla voda ze svahu svedena do odvodňovacího žebra, je mezi ním a patou zdi navržena vrstva nepropustné zeminy, která bude plnit funkci izolátoru a bude svádět vodu směrem k drenážnímu potrubí (zároveň bude zamezeno zadržování vody za patou zdi). Aby nebylo odvodňovací žebro zanášeno jemnějšími frakcemi, bude obaleno do geotextilie odpovídajících parametrů. Ta bude separovat také nepropustnou vrstvu od propustného zásypu za rubem zdi a chránit hydroizolační fólii v místech, kde k ní bude přiléhat hrubozrnná zemina (hrozící protržení).

Příprava staveniště předchází výstavbě jakékoliv, nejen, geotechnické konstrukce. To znamená, že průběh přípravy staveniště před realizací gabionové i navrhované prefabrikované zdi se nijak neliší. V rámci této práce je příprava staveniště zahrnuta pouze do srovnání časové náročnosti, aby byla znázorněna celková doba realizace.

Následuje první fáze zemních prací, jejíž průběh je shodný jako při realizaci gabionové zdi (včetně nutné mechanizace). Proběhne tedy sejmutí ornice, odtěžení zeminy ze zářezu a následné separátní deponování. Zabezpečení stavební jámy bude provedeno rovněž svahováním vzhledem ke stejným geotechnickým podmínkám. Proto se také náročnost realizace nebude lišit. Jediný rozdíl v této fázi s ohledem na odlišné rozměry konstrukce je kubatura zemních prací. Množství zemních prací má samozřejmě přímý dopad na trvání a cenu této fáze výstavby. Úhlová zeď byla navržena se štíhlým příčným průřezem a bude proto vyžadovat odkop menšího rozsahu. Konkrétně se jedná o rozdíl přibližně 250 m³ (40 nákladních aut – Tatra 815), což je s ohledem na celkovou kubaturu odkopu, která činí přibližně 3 000 m³, relativně zanedbatelný rozdíl. U realizace gabionové zdi samotná činnost odkopu včetně skrývky drnu probíhala 15 pracovních dní, přičemž se 4 dny překrývala s fází založení zdi a 1 den se založením i samotnou realizací zdi. Poměrem odhadovaná doba výstavby úhlové zdi vzhledem k odhadovanému nulovému překryvu s ostatními fázemi realizace činí 12 pracovních dnů. Díky štíhlejšímu tvaru konstrukce je fáze odtěžování zeminy ze zářezu o 8 % rychlejší a tím pádem i levnější.

Prefabrikovaná úhlová zeď bude osazena na podkladní konstrukci z prostého betonu v tloušťce 0,20 metru. Jedná se o obdobné řešení jako v případě betonových svodidel. Na šířku je podkladní beton navržen o 20 cm širší na obě strany, aby bylo usnadněno osazování prefa. dílců. Nejprve je vyžadováno srovnání základové spáry (ideálně například vrstvou štěrkodrti včetně odpovídajícího hutnění), aby bylo zamezeno zadržování vody za rubem zdi a aby bylo zaručeno odvodnění základové spáry, jež je tvořena zvětralými jílovci. Následuje provedení bednění z dřevěných desek a betonáž čerpaným betonem (dopraveným autodomíchávači), který je na místě hutněn ponornými vibrátory. Je zásadní vytvořit povrch bez nerovností, aby bylo možné při osazování prefabrikovaných dílců zachovat rovinatost konstrukce jako celku. V tomhle ohledu je realizace podkladního betonu výrazně náročnější, než je tomu u polštáře ze štěrkodrti pro gabionovou zeď.

Ani z hlediska času není tento typ podkladní konstrukce výhodnější, protože je nutné nechat beton zrán minimálně 7 dní, kdy pevnost betonu dosahuje 70 % z celkové pevnosti. Následně je zapotřebí vytvořit prořezáním dilatační spáry, které jsou vyplněny pružnou asfaltovou zálivkou. Odhadovaný čistý čas realizace této podkladní konstrukce je přibližně 3 dny, což zahrnuje bednění (1 den), betonáž (1 den) a provedení dilatačních spár (1 den). Pokud bude zahrnuta i doba zrání betonu, trvá tato fáze 10 dní. Přestože během doby zrání nevznikají zhotoviteli žádné náklady, zamezuje zrání v pokračování dalších prací. Pokud budou práce na tomto stavebním objektu probíhat pouze během pracovního týdne (což tak v případě gabionové zdi bylo), lze z těchto deseti dnů odečíst dva dny (víkend). Proto je v rámci tohoto srovnání uvažována délka této fáze 8 pracovních dní, což je o 4 dny více než v případě polštáře ze štěrkodrti. Celkově lze tedy konstatovat, že založení pomocí podkladního betonu je časově i stavebně náročnější. Paradoxně je cena obou porovnávaných podkladních konstrukcí srovnatelná.

Fáze realizace prefa. úhlové zdi představuje výrobu ve specializovaném závodě, dopravu na staveniště a následné osazení jednotlivých dílců. Z ekonomického hlediska bude zohledněna výroba, doprava i osazení. Do teoretického harmonogramu a zhodnocení náročnosti realizace je zahrnuta pouze doprava a samotné osazení prefabrikovaných dílců.

Před započítáním prací bude nutné provést vytyčení hrany líce zdi geodetem. K osazení bude využit autojeřáb s asistencí čtyř až pěti dělníků. Alternativně lze použít nákladní auto

s hydraulickou rukou, jež má dostatečnou únosnost. V každém dílci jsou přichystány otvory s hmoždinkami, do kterých jsou našroubovány lanová oka se závitem. Díky těmto okům lze stěnu uchytit karabinami nebo háky řetězu, pomocí kterého jeřáb dílec zdvihne. Dílec je přivezen

na staveniště kamionem, ze kterého je jeřábem přemístěn přímo na podkladní konstrukci. Přesná poloha je definovaná zmíněným vytyčením líce zdi. Když je dílec usazen, pokračují práce analogicky s každým dalším dílcem. Jednotlivé prefabrikáty jsou osazovány na sraz a následně spojovány zezadu zemnicím páskem (je přeložen přes svislou spáru mezi dílci a provrtán do každého z nich). Přestože je samotné osazování relativně nenáročné, vyžaduje průběžné proměřování a neustálý dohled nad prováděním, aby byla zajištěna rovinnost líce zdi a celkové kvalitní provedení konstrukce. K dopravení dílců na staveniště bude zapotřebí přibližně 11 kamionů. Doba osazení jednoho dílce je odhadem 8 minut. Osazení dílců v délce celé zdi (133×1 m) tedy zabere přibližně 18 hodin, což lze považovat za 2 pracovní dny. Ve srovnání s montáží a plněním gabionových košů je tato fáze o 6 dnů rychlejší. Cenový rozdíl mezi gabionovou a alternativní prefabrikovanou zdí je přibližně 2 % ve prospěch alternativy. Technologická náročnost této fáze u navrhované alternativy je nižší než u gabionové zdi.

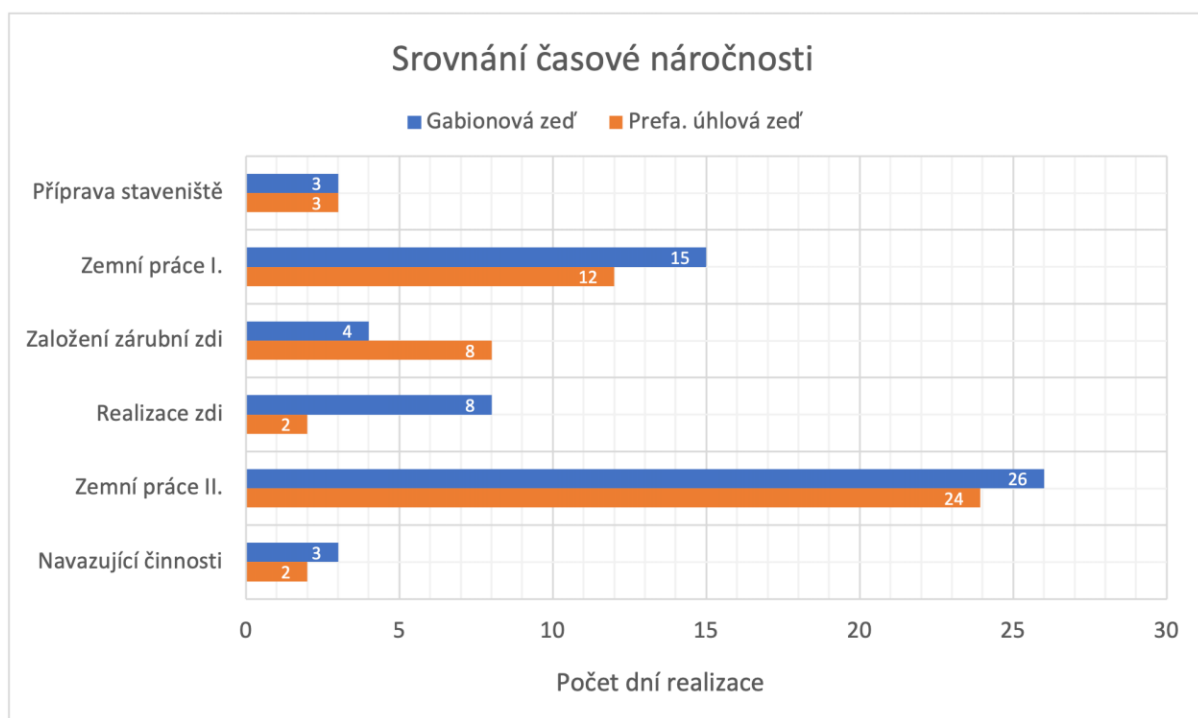
Rozsah druhé části zemních prací, která zahrnuje zpětný zásyp za rubem zdi, svahování a ohumusování (včetně založení trávníku hydroosevem), se také odvíjí od rozměrů zárubní zdi. Pro zpětný zásyp bude použita opět odtěžená zemina ze zářezu, která bude splňovat požadované parametry dle ČSN 73 6133. Pro železobetonovou úhlovou zeď je řešení zpětného zásypu technologicky o dost náročnější, protože je nutné důkladně provést odvodnění za rubem zdi vzhledem k nepropustnosti konstrukce (viz výše). Navrhované řešení zahrnuje připevnění hydroizolační fólie (například nopové) na rub betonové konstrukce, nasypání a zhutnění vrstvy nepropustné zeminy. Na této vrstvě bude proveden sklon směrem k drenáži, která bude na tuto vrstvu následně umístěna spolu se separační geotextilií (ta bude také chránit hydroizolační fólii). Dále bude vytvořeno odvodňovací žebro obalené stejnou geotextilií a prováděn průběžný zásyp. Celková kubatura zpětného zásypu bude přibližně o 8 % nižší než v případě gabionové zdi stejně jako výše popisovaný odkop. Plocha ohumusování a s ním souvisejícího hydroosevu bude také nižší (přibližně o 3 %). Přestože je celkový objem zemních prací menší, bude tato fáze technologicky i finančně náročnější.

Konkrétní cenový rozdíl je 25 % ve prospěch gabionové konstrukce. Pro zjednodušení finančního srovnání je drenážní potrubí zahrnuto do této fáze i pro gabionovou zeď, přestože byla realizována během fáze založení zdi (viz Příloha C). Časově vychází tato fáze (odhadem) o 2 dny kratší než u gabionové zdi.

Navazující činnosti se v zásadě neliší. Bude osazeno kompozitní zábradlí a připevněny geodetické štítky za účelem následného monitoringu. Průběžný monitoring během realizace bude podobný jako u gabionové zdi. U gabionové zdi se sloupky zábradlí kotvily do betonových patek (viz podkapitoly 3.4. a 3.6.). Pro prefabrikovanou zeď bude řešení stejné, přičemž vypadne nutnost realizace betonových patek a sloupky budou kotveny přímo do konstrukce. Není tedy nutné čekat na dozrání betonových patek, přestože mohou zároveň probíhat práce na zásypu (na rozdíl od podkladního betonu). Samotné kotvení bude vyžadovat větší přesnost. Je vhodné koordinovat rozmístění sloupků a světlou vzdálenost svislé betonářské výztuže, aby nedošlo ke kolizi. Připevnění geodetických štítků proběhne stejně jako u gabionové zdi. Časový a cenový rozdíl u této fáze vychází především z nepotřebnosti betonových patek. Jedná se o přibližně jeden den a o 24 % nižší cenu. Technologickou náročnost lze označit za srovnatelnou.

Stavební náročnost navrhované alternativní konstrukce jako celku je větší než v případě gabionové zdi. Lze říct, že rozhodující částí výstavby s ohledem na technologickou náročnost je druhá fáze zemních prací. Náročnost všech ostatních fází výstavby je v součtu srovnatelná s realizací gabionové zdi. Důvodem, proč je druhá část zemních prací rozhodující, je zmiňovaná nutnost komplikovanějšího řešení odvodnění za rubem zdi.

5.3. Vyhodnocení časové a ekonomické náročnosti



Graf 1 – Srovnání časové náročnosti

V první řadě je nutné říct, že součet délek trvání jednotlivých fází dohromady nedává skutečnou celkovou délku výstavby, protože se některé fáze mohou vzájemně překrývat. V závislosti na možnostech provádění více činností souběžně lze skutečný celkový čas výstavby výrazně snížit. Například při realizaci gabionové konstrukce lze zároveň v jedné části zářezu realizovat šterkový polštář, zatímco ve zbývající části se teprve zemina odtěžuje. Dalším příkladem je souběžná montáž a plnění gabionových košů s prováděním zpětného zásypu za rubem zdi. Naopak u prefabrikované železobetonové zdi jsou jednotlivé činnosti takového charakteru, že je nelze provádět souběžně v takové míře jako je tomu v případě gabionové konstrukce.

V grafu 1 jsou uvedeny délky trvání jednotlivých fází výstavby obou porovnávaných konstrukcí. Součet těchto délek u gabionové zdi činí 59 dní, přičemž celková skutečná délka realizace gabionové zdi stanovená pozorováním na stavbě a dle záznamů ve stavebním deníku je 51 pracovních dnů.

Součet délek jednotlivých fází navrhovaného technologického postupu pro alternativní prefabrikovanou úhlovou zeď je roven 51 pracovním dnům. Odhadovaná skutečná doba trvání realizace této zdi je ale 48 pracovních dnů. Je totiž předpokládáno, že jeden den fáze realizace zdi a veškeré navazující činnosti bude možné provádět souběžně s druhou fází zemních prací. Je důležité zmínit, že těchto 48 pracovních dnů zahrnuje celých 5 dní bez činnosti, během kterých zraje podkladní beton (viz výše).

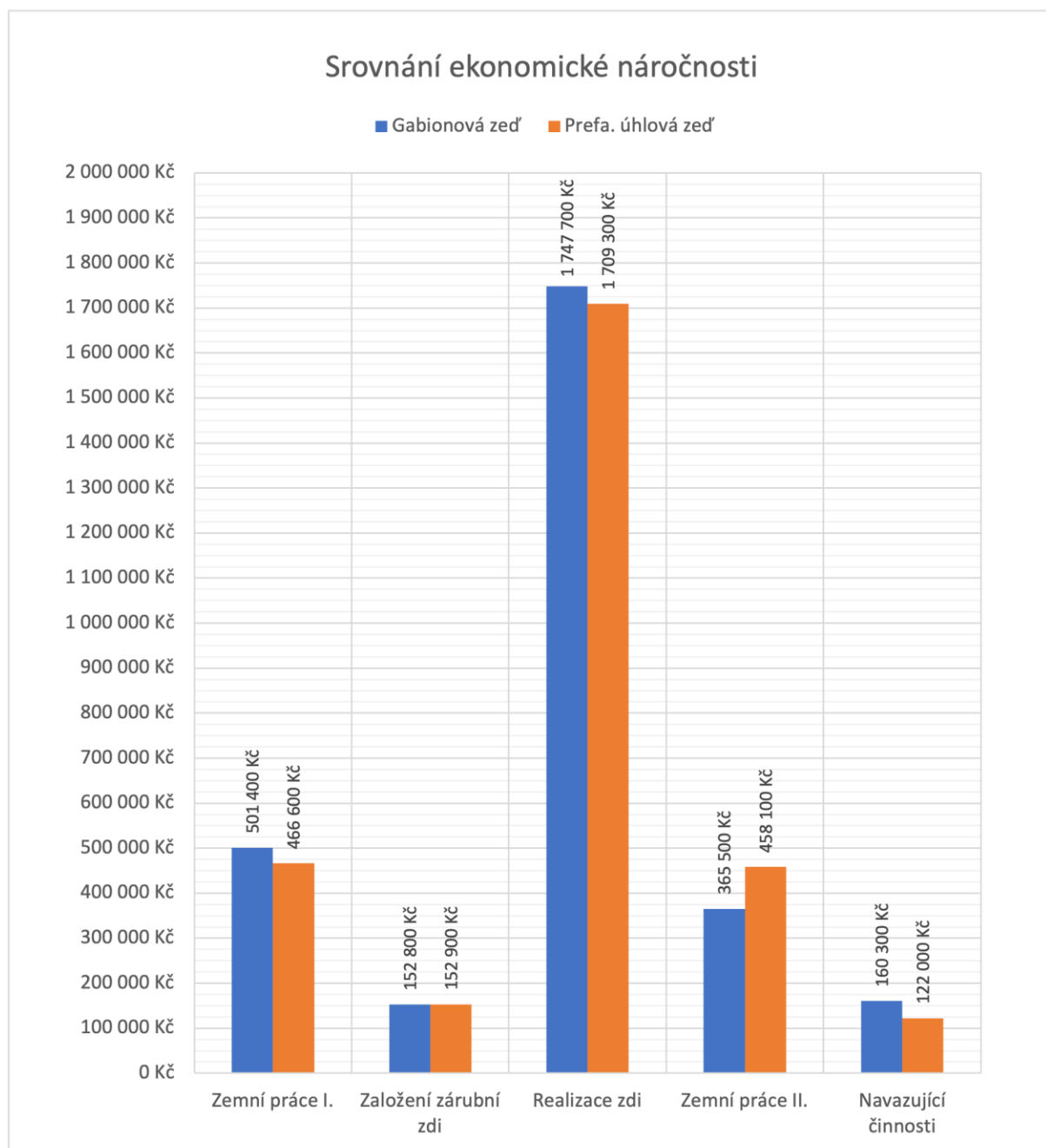
Z grafu 1 dále vyplývá, že je alternativní stěna časově výhodnější ve čtyřech z celkem šesti porovnávaných fází výstavby. Největší rozdíl tvoří samotná montáž, respektive osazení zdi, jenž je u prefabrikované zdi 4x rychlejší. Jediná část výstavby, ve které je časově výhodnější gabionová zeď, je podkladní konstrukce. Realizace šterkového polštáře je 2x rychlejší, než je tomu v případě podkladního betonu (při zahrnutí doby jeho zrání). Dalším důležitým parametrem, jenž ovlivňuje výstavbu z hlediska času, je rozsah zemních prací. Vzhledem k tomu, že je alternativní prefabrikovaná stěna štíhlejšího charakteru, vyžaduje menší objem zemních prací a výstavba je tudíž rychlejší. Náročnější řešení odvodnění způsobuje, že zmíněná výhoda není kompletně využita.

Při porovnání součtů délek fází výstavby je prefa. úhlová zeď o 8 dnů rychlejší. Nicméně po zohlednění možnosti součinnosti a provádění více fází výstavby souběžně, je skutečný rozdíl v době realizace pouze 3 dny ve prospěch alternativní opěrné konstrukce.

Všechny časové údaje vychází z jedné konkrétní realizace konkrétním zhotovitelem. Doba výstavby by se lišila, pokud by se například zárubní zeď realizovala v zářezu dálnice D1, kde jsou kladeny mnohem větší nároky na rychlost realizace. Jednak by situace vyžadovala, aby výstavba probíhala také během víkendů a celkově rychleji. Tahle situace by byla pro prefabrikovanou stěnu nevýhodou. Subjektivně lze říct, že v případě nutnosti by bylo možné dobu realizace zkrátit přibližně o 20 % s pomocí efektivnějšího provedení zemních prací. Kratší realizace ale nutně neznamená nižší náklady.

Třídenní rozdíl v celé výstavbě není nijak významný vzhledem k celkovému času kolem padesáti pracovních dnů. V případě, že by situace vyžadovala rychlou realizaci, a tedy napnutý harmonogram, byla by dokonce tato třídenní výhoda prakticky smazána. U realizace gabionové konstrukce je totiž mnohem větší možnost jejího zrychlení (minimálně díky lepší

schopnosti součinnosti jednotlivých fází výstavby). Z hlediska času jsou tedy v konečném výsledku realizace obou opěrných konstrukcí srovnatelné.



Graf 2 – Srovnání ekonomické náročnosti

Za účelem objektivního, aktuálního a kompletního srovnání ekonomické náročnosti realizace obou řešených technologií bylo přistoupeno ke srovnání z pohledu investora, respektive zadavatele veřejné zakázky. V tomto případě je investorem Ředitelství silnic

a dálnic ČR, jenž musí do zadávací dokumentace zahrnout neoceněný položkový soupis stavebních prací.

Pro potřeby této práce byly vypracovány dva soupisy prací (viz Příloha C), které vychází z aktuálního Oborového třídníku stavebních konstrukcí a prací 2020 (OTSKP 2020) včetně konkrétních cen jednotlivých položek. Všechny položky dohromady představují kompletní materiál, jeho dodání a veškeré potřebné stavební práce, jež v sobě zahrnují také nutnou mechanizaci, pracovníky i know-how. Skutečné ceny se mohou lišit v závislosti na schopnostech a možnostech konkrétního zhotovitele.

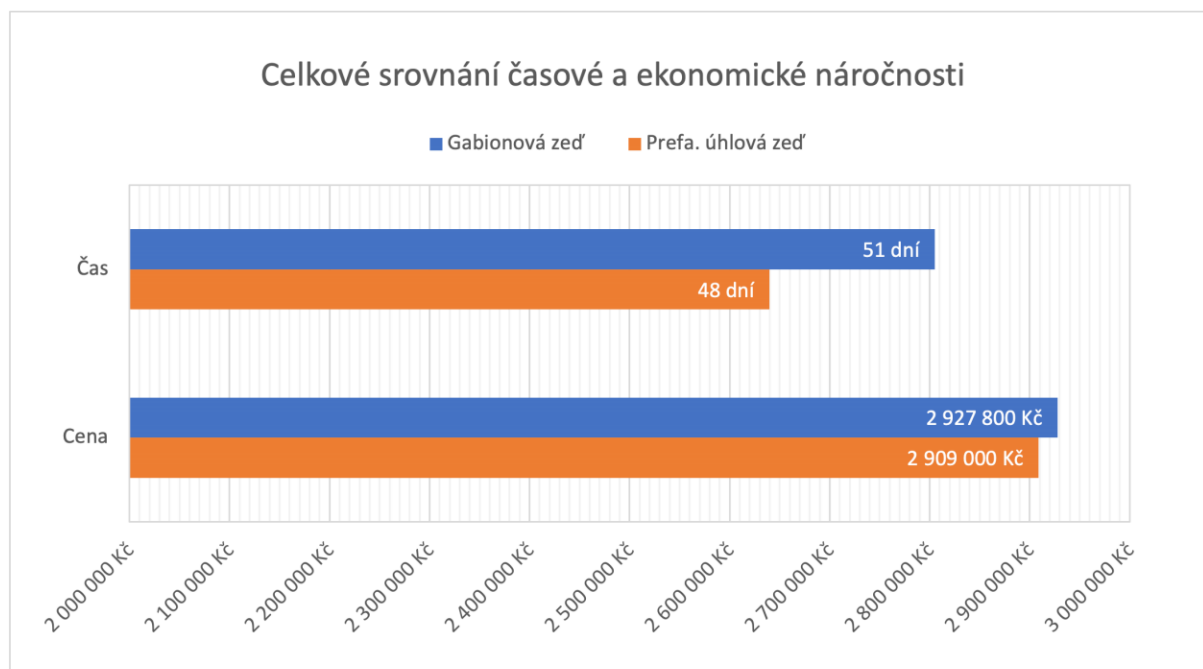
V položkových soupisech prací (viz Příloha C) byly jednotlivé položky seskupeny podle postupných fází výstavby. Do porovnání z hlediska ceny nebyla zahrnuta příprava staveniště, protože bývá u velkých staveb zpravidla oddělena jako samostatný stavební objekt. Rozdíl v ceně jednotlivých fází je znázorněn na grafu 2, ze kterého vyplývá, že vzhledem k celkové částce je významnější rozdíl pouze u druhé fáze zemních prací vlivem složitějšího odvodnění (viz výše).

Množství jednotlivých položek u gabionové zdi (viz Příloha C1) bylo stanoveno z geodetického zaměření a RDS. Pro alternativní konstrukci byly využity kubatury gabionové zdi, jež byly poměrově upraveny. Tento poměr byl získán porovnáním vzorových příčných řezů v programu AutoCAD 2021. U některých alternativních položek, které u gabionu nefigurují, bylo využito výpočtu z hodnot naměřených ve vzorovém příčném řezu (viz Příloha C2).

Kompletní zemní práce (tj. část I. a II. včetně odvodnění) jsou u alternativní konstrukce přibližně o 58 tisíc korun dražší. Důvodem je několikrát zmíněná nutnost komplikovanějšího odvodnění. Zjednodušeně lze konstatovat, že částka ušetřená menší kubaturou zásypu je promrhána odvodňovacím žebrem a zmíněný rozdíl odpovídá ceně hydroizolační fólie.

Přestože je realizace podkladního betonu komplikovanější, cena se od štěrkového polštáře téměř neliší. Je potřeba zmínit, že pro zjednodušení porovnávání bylo veškeré odvodnění zahrnuto do druhé fáze zemních prací, přestože u gabionu je součástí podkladní konstrukce. Při srovnání samotných zdí bez ohledu na podkladní konstrukce nebo související zemní práce je opět výhodnější prefa. úhlová stěna. Konkrétně se jedná o 38 400 Kč, což je pouze o 2 % levnější než konstrukce z gabionových košů.

Navazující činnosti v případě navrhované alternativy jsou o přibližně 38 tisíc korun levnější díky absenci betonových patek pro kotvení sloupků zábradlí (PVC trubky, viz část 3.6.), což ale neodpovídá plné hodnotě položky 87644. Z vypracovaného soupisu prací (Příloha C1) je zřejmé, že gabionová zeď nedisponuje zábradlím v celé své délce. Příčinou je lokálně snížená výška konstrukce na jejím začátku a konci (Obrázek 12). Protože je u prefa. zdi uvažováno zábradlí v celé délce, je jeho cena vyšší.



Graf 3 – Celkové srovnání časové a ekonomické náročnosti

Celkový cenový rozdíl mezi porovnávanými konstrukcemi je 18 800 Kč ve prospěch navrhované prefabrikované železobetonové zdi. Tento cenový rozdíl (0,64 %) je vzhledem k celkové ceně necelé tři miliony korun doslova zanedbatelný. Graf 3 ukazuje, že realizace alternativní prefabrikované stěny je rychlejší a levnější. S ohledem na celkovou cenu a dobu trvání jsou však tyto rozdíly bezvýznamné. Pro praktické srovnání je tedy rozhodujícím parametrem technologická náročnost realizace.

6. Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo praktické a komplexní srovnání gabionové a alternativní železobetonové zárubní zdi z prefabrikovaných dílců. Srovnání, které vychází především z vlastních zkušeností na stavbě, bylo primárně zaměřeno na technologickou, časovou a ekonomickou náročnost realizace. Mimo jiné byly zhodnoceny a porovnány i další vlastnosti, výhody a nevýhody obou technologií.

Výsledkem tohoto srovnání je determinování vhodnější konstrukce pro konkrétní zářez dálnice D48. Z hlediska ceny a času byly na základě výpočtů klasifikovány obě technologie jako srovnatelné. Rozhodujícím parametrem je rozdíl v technologické náročnosti výstavby, jenž je způsoben hlavní diferencí ve vlastnostech porovnávaných konstrukcí. Rozhodující vlastností je propustnost, kterou alternativní konstrukce na rozdíl od gabionu nedisponuje. Právě nutnost mnohem důkladnějšího odvodnění je důvodem, proč je výstavba zdi z prefabrikovaných dílců náročnější a komplikovanější. Dalšími rozdílovými vlastnostmi výhodnými pro gabionové zdi jsou nepotřeba údržby a větší variabilita použití.

Výsledek této práce potvrzuje správnost zvolení gabionové zárubní zdi, která byla v zářezu dálnice D48 realizována. Důležitým přínosem této práce je přiblížení průběhu výstavby gabionové konstrukce spolu s alternativním návrhem technologického postupu, který by vyžadovala prefabrikovaná stěna. Přestože v rámci srovnání nakonec cena ani čas nehrály tak významnou roli, lze považovat za další přínos této práce představení doby trvání realizace obou technologií a nákladů nutných na jejich výstavbu. To vše v kombinaci s prezentací principů fungování a zásad navrhování představuje nový a praktický pohled na problematiku opěrných konstrukcí.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Odolnost vůči překlopení zdi díky tíze zadržované zeminy (Brodland, 2018)	16
Obrázek 2 – Odtěžování zeminy ze zářezu	20
Obrázek 3 – Odtěžování a odvoz zeminy ze zářezu	20
Obrázek 4 – Vzorový příčný řez gabionovou zdí (převzato z RDS SO C271)	21
Obrázek 5 – Odvodnění gabionové zdi	22
Obrázek 6 – Hotový polštář a vytyčení líce zdi	22
Obrázek 7 – Montáž a plnění gabionových košů	23
Obrázek 8 – Realizace gabionové zdi	23
Obrázek 9 – Distanční spony	24
Obrázek 10 – Detail spojení gabionových košů	24
Obrázek 11 – Realizace zpětného zásypu	25
Obrázek 12 – Dokončené zemní práce	25
Obrázek 13 – Geodetický štítek	26
Obrázek 14 – Kompozitní zábradlí	26
Obrázek 15 – Zjednodušené schéma řešení alternativní prefa. železobetonové zdi	34

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Čerpání únosností při posuzování gabionové konstrukce.....	28
Tabulka 2 – Čerpání únosností při posuzování úhlové zdi.....	30

Seznam grafů

Graf 1 – Srovnání časové náročnosti	39
Graf 2 – Srovnání ekonomické náročnosti.....	41
Graf 3 – Celkové srovnání časové a ekonomické náročnosti.....	43

Literatura

- [1] BALLESTER MUÑOZ, Francisco a Claudio M^a ALVÁREZ ORTEGA, SANTAMARÍA ARIAS, Jesús, ed., 1999. *Tipología de muros de carreteras*. Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones. ISBN 84-498-0333-0.
- [2] BARVÍNEK, Richard, 2017. *Geotechnická příručka pro zaměstnance Metrostav a.s.* Praha.
- [3] BRODLAND, Wayne, Chloe GIBSON a Kristin WILSON, 2018. 8. Retaining Walls. In: *YouTube* [online]. Waterloo: University of Waterloo [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=iDzp6xEAT2I&t=188s>
- [4] C 271 ZÁRUBNÍ ZEĎ V KM 22,460 - 22,590 VPRAVO: *Realizační dokumentace stavby D48 Rybí – MÚK Rychaltice*, 2019. Jihlava: Vysplan.
- [5] ČSN 73 0037: *Zemní tlak na stavební konstrukce*, 1992. Praha: Český normalizační institut.
- [6] ČSN 73 6133: *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*, 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [7] ČSN EN 1997-1: *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla*, 2006. Praha: Český normalizační institut.
- [8] Dálnice D48 Rybí – MÚK Rychaltice: INFORMAČNÍ INFOLETÁK. https://mapapp.rsd.cz/Upload/Stavby/82/infoletak_d48-rybi-muk-rychaltice.pdf [online]. Praha, 09/2020 [cit. 2020-10-27].
- [9] MASOPUST, Jan, 2012. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997*. Praha: Informační centrum ČKAIT. ISBN 978-80-87438-31-2.
- [10] MASOPUST, Jan, 2018. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí*. 2. vydání. Praha: pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-88265-12-2.
- [11] *Online nápověda GEO5/Gabion: Návrhové přístupy* [online], 2021. Praha: Fine spol. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/navrhove-pristupy-01/>

- [12] *Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací: OTSKP* [online], 2020. Ministerstvo dopravy ČR. Praha: Státní fond dopravní infrastruktury [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: https://www.sfdi.cz/soubory/obrazky-clanky/metodiky/2020_aktualizace-otskp-2020-ii.zip
- [13] PASEKA, Antonín, Hynek JANKŮ, Alexandra ERBENOVÁ, Helena BRDEČKOVÁ, František HUBATKA a Josef FROLKA, 2014. *Svahové pohyby*. Brno: Ing. Vladislav Pokorný-LITERA BRNO. ISBN 978-80-214-4954-1.
- [14] PROCHÁZKA, Jaroslav a Jiří ŠMEJKAL, 2017. *Betonové základové a opěrné konstrukce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-06128-2.
- [15] RADIMSKÝ, Michal, 2007. *Projektování pozemních komunikací: Modul 5 Opěrné a zárubní zdi*. Brno. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.
- [16] SMOLTCZYK, Ulrich, 2002. *Geotechnical Engineering Handbook*. Berlin: John Wiley. ISBN 978-3-433-01452-3.
- [17] *TKP 2: Příprava stavenišť*, 2016. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury.
- [18] *TKP 4: Zemní práce*, 2017. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury.
- [19] *TKP 30: Speciální zemní konstrukce*, 2009. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury.
- [20] *TP 76 A: Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace – část A: Zásady geotechnického průzkumu*, 2009. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury.
- [21] *TP 76 B: Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace – část B: Provádění geotechnického průzkumu*, 2009. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury.
- [22] *TP 175: Stanovení životnosti betonových konstrukcí objektů pozemních komunikací*, 2006. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací.
- [23] VOJTASÍK, Karel, 2014. *Geotechnické stavby: Sylaby přednášek*. Ostrava. Dostupné také z: <http://www.geotechnici.cz/predmety/geotechnicke-stavby/studijni-materialy/podklady-pro-prednasky/>
- [24] ZAJÍČEK, Jan a kolektiv, 2014. *Technologie stavby vozovek*. Praha: ČKAIT. ISBN 978-80-87438-59-6.

- [25] ZÁRUBA, Quido, Josef VACHTL a Miloslav POKORNÝ, 1974. *Základy geologie a petrografie pro stavební fakulty*. Vydání třetí, upravené. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, Nakladatelství Alfa. DT 550.8-552.
- [26] ZOGLOBOSSOU, Hippolyte, HODNÝ, Václav, ed., 2007. *Silnice R48 Rybí – MÚK Rychaltice: Podrobný geotechnický průzkum*. Ostrava